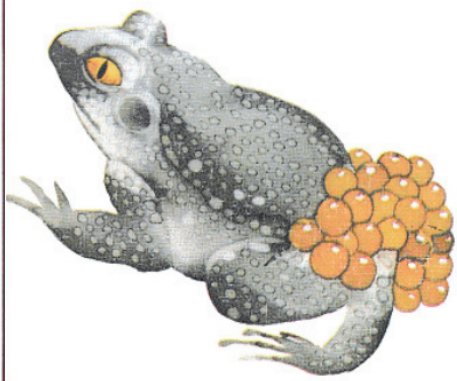
Ciencias de la Naturaleza

Pierre P. Grassé

Evolución de lo viviente



La evolución, problema central de la Biología, tiene como fin el estudio del origen de los seres vivos, sus transformaciones y su posible futuro. No es una hipótesis, sino un hecho cuya comprensión da sentido al mundo viviente. Grassé sitúa este problema en el plano de la estricta realidad y hace de la objetividad una regla fundamental. Nos muestra que las interpretaciones tradicionales de lo que designamos con el nombre de evolución no son las únicas que se ofrecen a la mente del biólogo; utilizando un abanico de datos tomados desde la Paleontología hasta la Biología Molecular, esboza una concepción objetiva y prospectiva de la evolución y sus mecanismos, discutiendo las interpretaciones en uso sobre este apasionante tema.

Pierre Paul Grassé

Evolución de lo viviente

ePub r1.0
Titivillus 13.03.2023

Título original: *L'Evolution du Vivant*
Pierre Paul Grassé, 1973
Traducción: Ernesto Fernández & Arantza Plazaola
Revisor de la traducción: Antonio Resines

Editor digital: Titivillus
ePub base r2.1

Índice de contenido

Prefacio

Introducción

1. De lo simple a lo complejo. Evolución progresiva, evolución regresiva

2. La evolución creadora o el nacimiento de los tipos de organización

3. La evolución, fenómeno histórico discontinuo

4. La evolución y el azar

5. Evolución y selección natural

6. Adaptación y evolución

7. Evolución y necesidad

8. Las actividades genéticas y sus relaciones con la evolución

9. Nueva interpretación de los fenómenos evolutivos

Conclusión

Apéndice

Glosario

Bibliografía

Notas

El energúmeno
¿Qué es la materia?

El filósofo
No lo sé muy bien. La imagino extensa, sólida, resistente, con peso, divisible, móvil; Dios puede haberle dado otras mil cualidades que ignoro.

El energúmeno
Mil otras cualidades; traidor; ya veo a dónde quieres llegar; vas a decirme que Dios puede animar la materia, que ha dado el instinto a los animales, que es el dueño de todo.

El filósofo
Bien podría ocurrir que Él, en efecto, hubiera otorgado a esta materia muchas cualidades que usted no sabría comprender.

VOLTAIRE
Diccionario Filosófico
artículo Materia

Prefacio

Existen problemas biológicos que ejercen idéntica fascinación sobre científicos y filósofos. La evolución de los seres organizados es uno de ellos.

Esta convergencia de interés o de curiosidad es digna de reconocimiento, pero no aporta todo lo que sería de esperar. Los filósofos no poseen un conocimiento preciso, vasto y «asimilado» de los hechos; otro tanto se puede decir de los bioquímicos y genéticos, hombres de despacho o de laboratorio, que no están en contacto directo con la naturaleza en su complejidad inmensa y, por lo tanto, con el hecho evolutivo.

Esto no impide que el filósofo tenga en el estudio de la evolución, una parte en absoluto despreciable. Él se ocupa de elevar el debate y penetrar sin temor en el terreno metafísico, donde el naturalista no se atreve a entrar ni de puntillas. El filósofo sitúa el problema en la perspectiva de lo universal y le da la conveniente amplitud.

En este libro nos habría gustado satisfacer al mismo tiempo las exigencias de la biología y las de la filosofía. Esta tarea sobrepasa realmente las capacidades del biólogo que soy. Creemos, sin embargo, que el filósofo encontrará en estas páginas materia para reflexionar y cuestionar no sólo nuestras concepciones, sino también las de nuestros ilustres predecesores.

La presente obra es un ensayo en el que hemos mantenido como regla no mencionar nada que no haya quedado establecido por medios científicos, o que no hayamos comprobado nosotros mismos. Medio siglo de investigaciones en diversos terrenos de la zoología y la biología general nos ha ilustrado algo acerca de las realidades del mundo viviente.

La comprensión de los fenómenos evolutivos exige un sólido conocimiento de la zoología, la paleontología, la citología, la

genética, la bioquímica, incluso las matemáticas… Un hombre solo no podría poseer semejante erudición y, sin embargo, ¿cómo investigar correctamente la evolución sin ella?

No basta con el saber libresco. Por una parte el conocimiento práctico, concreto de los fósiles y, por otra, los animales vivos, observados preferentemente en su medio, suponen para el evolucionista un importante capital. ¿Quién después de haber visto nadar una foca o un otario**(e1)**, osaría mantener que se trata de animales monstruosos, que subsisten porque han tenido la suerte de encontrar un hábitat acuático?

Es suficiente haber visto retozar a la nutria gigante de Brasil que nada y se desliza en el agua con una gracia y una seguridad sin igual, para comprender, simplificando, por supuesto, que la evolución a partir del carnívoro fisípedo con costumbres anfibias ha conducido poco a poco a los carnívoros pinnípedos, estrictamente limitados al medio acuático. No hay nada de monstruoso o anormal en ello.

Cualquier explicación de la evolución que pierda de vista los datos de la paleontología no es más que una teoría en la que lo imaginario ocupa el lugar principal. Creemos que los paleontólogos y botánicos no han extraído aún toda la información que contiene el registro paleontológico. Nuestras investigaciones, emprendidas con una total libertad de espíritu, revelarán probablemente hechos desconocidos y orientarán la búsqueda por vías aún no exploradas.

Eliminar lo falso, encontrar el error, no son trabajos negativos; abren los caminos hacia la verdad y el descubrimiento.

Asegurar nuestro conocimiento de los fenómenos evolutivos y demostrar la impotencia de las doctrinas actuales para explicarlos, no es una tarea vana. La consideramos tremendamente útil y profundamente científica.

En esta obra mostramos que las interpretaciones tradicionales de lo que designamos bajo el nombre de evolución, no son las únicas que se ofrecen al biólogo o al filósofo de la naturaleza. Nosotros proponemos una que, apoyándose por igual en los datos de la paleontología y de la biología molecular, se esfuerza en dar una explicación racional y general de los auténticos fenómenos evolutivos.

Rouffillac, diciembre 1972.

Prolegómenos al problema de la evolución

Consideraciones generales sobre el ser vivo

Decir que los seres vivos se componen de los mismos elementos que los cuerpos inertes, que son la sede de fenómenos físicos y químicos que se dan también en dichos cuerpos inertes, es en el fondo algo carente de transcendencia y significación.

¿Cómo imaginar que los seres vivos puedan poseer otra composición si no existe más que una sola materia multiforme? ¿Cuáles serían sus propiedades si no dependiesen de las leyes fisicoquímicas? ¿Estarían a merced de la varita de Melusina o de los encantamientos de Merlin? Todas éstas son suposiciones absurdas.

Saber que los seres vivos comparten con los objetos materiales su composición química elemental y obedecen a las mismas leyes fisicoquímicas no nos enseña nada fundamental sobre la originalidad de lo viviente.

Una de las diferencias radicales que oponen el fenómeno físico al biológico es la obligación absoluta del primero de obedecer las leyes de la materia.

La gravedad ejerce su acción sobre todo objeto material; nada dentro del campo gravitatorio escapa a ella. Sus leyes son universales. Pero, el ser vivo no se somete a la ley física sin reaccionar. En mayor o menor medida, puede sustraerse a ella. Así, el pájaro y el insecto gracias a sus alas, obvian la gravedad, sin por ello violar su ley.

La necesidad no impone imperativamente su ley al ser vivo. Prueba de ello es la variedad morfológica y funcional de plantas y animales que consiguen vencer las peores dificultades físicas, viviendo tanto en climas polares como en la zona tórrida, y cuya forma y costumbres adquieren en el seno de un mismo ambiente

una gran diversidad.

Así es cómo el ser vivo, gracias a su complejidad estructural, sus mecanismos y sus «invenciones[1]», escapa parcialmente a la ley física o la soslaya. ¿Acaso no consiste una de sus constantes victorias en sustraerse a la ley de la entropía, llegando a ser una máquina que permanentemente se opone a ella?

Cada ser vivo observa su propia ley, que es la de permanecer tal cual es y la de engendrar nuevos seres idénticos a sí mismo. El roble sigue siendo roble en sí mismo y en su descendencia. Sólo otra ley, la de la herencia, le hace violar la suya, imponiéndole el cambio y haciéndole entrar en el ciclo de la evolución biológica.

De este modo, el mundo de los seres vivos está sometido a reglas, a las cuales escapa totalmente el universo de la materia inanimada. Reglas que nosotros descubrimos raramente porque son de una gran complejidad y no se dejan expresar fácilmente en términos matemáticos, debido al elevado número de parámetros que ponen en juego.

El carbonato cálcico, los silicatos, el yeso, el hierro, el cobre, la plata, el oro que componen la Basílica de San Pedro de Roma, no difieren de las materias enterradas en las minas y canteras de los cuatro continentes y, sin embargo, ¡qué distancia entre las unas y las otras! Intervienen el proyecto, la composición de las partes, los dispositivos de apoyo, la decoración, la adaptación a un fin; aparece la suprema concepción del hombre, creada por su mente, sin la cual no habría más que materia bruta…

Ahora bien, todo ser vivo encierra en sí mismo una enorme suma de potencialidades; muchas más de las necesarias para construir la más espléndida de las catedrales. Esto se llama hoy «información», pero el término es lo de menos. No está registrada como en un ordenador, sino que se condensa, miniaturizada a escala molecular, en el ADN de los cromosomas o de algún otro orgánulo, y esto en cada célula.

Estas potencialidades son el *sine qua non* de la vida. Ningún ser vivo es concebible sin ellas. Su procedencia es un problema que interesa a biólogos y filósofos y que la ciencia actual no parece capaz de resolver.

Ante una obra humana, cree saberse de dónde vienen las potencialidades que contiene y quién les ha dado forma; cuando se

trata de un ser vivo se ignora y nadie lo ha averiguado, lo mismo Darwin que Epicuro, Leibnitz que Aristóteles, Einstein que Parménides.

Un acto de fe sólo puede hacemos adoptar tal o cual hipótesis. Pero la ciencia no acepta ningún credo (o no debería aceptarlo), confiesa su ignorancia, su impotencia para resolver el problema que estamos seguros se plantea.

Si investigar el origen de la información en un ordenador no es un falso problema, ¿por qué lo sería cuando se trata de la información contenida en los núcleos celulares?

El poder de invención del ser vivo es inmenso. Según nosotros, no es más que la capacidad de tratar la información en función de una cierta dirección y quizás de un cierto fin. Ignoramos su mecanismo íntimo y sus fuentes profundas. El biólogo se mueve entre espesas tinieblas.

La planta, el animal edifican por sí mismos los órganos que les ponen en relación con el mundo exterior y les permiten sobrevivir o vivir mejor. Esta construcción, realizada a costa de esfuerzos que se desarrollan durante decenas de millones de años, no nos sorprenden, hasta tal punto nos parece intrascendente, natural. Y sin embargo, ¡qué prodigiosa diferencia con el objeto inanimado!

¿Se ha visto alguna vez a una piedra adquirir otra cosa que una costra de descomposición? Las leyes fisicoquímicas que la gobiernan se oponen a ello y por sí misma no puede nada.

Por supuesto, los seres vivos están sometidos a leyes que son comunes a todo lo que es materia, pero además obedecen leyes que le son propias, aunque no se refieran más que a fenómenos fisicoquímicos de un tipo particular. Las dos clases de leyes se complementan entre sí, y si sobreviene un desacuerdo entre ellas, el organismo muere. La vida resulta de la asociación de sistemas materiales con sistemas complementarios, no sólo determinados, sino propios además de los seres organizados.

El principio de complementaridad de Niels Bohr se aplica no solamente a los aspectos corpusculares y vibratorios de la luz, sino también a los seres vivos. Reconocer lo que corresponde en ellos a lo inanimado y a lo vivo es una de las tareas primordiales de bioquímicos y biofísicos.

La evolución biológica y sus manifestaciones

El término «evolución biológica» designa la sucesión y la variación en el tiempo de formas vegetales y animales. Esto implica que a la continuidad parental se añade una tendencia interna a modificar ciertas estructuras y a crear otras nuevas.

La evolución está considerada por la casi totalidad de los zoólogos y botánicos como un hecho y no como una hipótesis. Hacemos nuestra esta apreciación y la fundamentamos ante todo en los documentos suministrados por la paleontología, es decir, por la historia del ser vivo.

La observación de especies actuales no impone la idea de la evolución; muestra hechos que le son favorables sin ser plenamente demostrativos. La imaginamos porque el presente no puede mostrar la serie de estados sucesivos en los que consiste la evolución misma, ya que no es más que un instante fugitivo.

A veces he recurrido al razonamiento de que las estructuras, las funciones, las conductas son ininteligibles si no participan en un movimiento evolutivo; esto es reprobable ya que postula implícitamente que nuestra lógica es la del universo viviente, cosa de la que no tenemos ninguna certeza.

El naturalista debe recordar que no dispone de más manifestaciones del hecho evolutivo que las formas fósiles. El conocimiento de la paleontología le es indispensable; es la única capaz de probarle la realidad de la evolución y de revelarle sus modalidades o su mecanismo. Ni la consideración de los seres actuales ni la imaginación, ni las teorías pueden sustituir al registro paleontológico. Sin él, el biólogo, el filósofo de la naturaleza se entrega a numerosas interpretaciones, pero sin forjar más que hipótesis. Se comprenderá así la razón de nuestro constante recurso a la paleontología, única ciencia verdadera de la evolución. Sus enseñanzas invitan a interpretar los hechos actuales con prudencia y hacen sospechosas, incluso ilegítimas, algunas hipótesis presentadas por sus autores como ciertas.

La embriogénesis suministra documentos preciosos para quien sepa interpretarlos cautelosamente y con agudeza. La ley biogenética fundamental de Ernst Haeckel, a despecho de las críticas con las que algunos biólogos la han abrumado, no ha perdido nada de su valor. Es verdad que se han atribuido a su autor

opiniones que nunca profesó. Comprendió que la ontogénesis sufre el contragolpe de las adaptaciones y de los cambios del medio, aunque oponga a las variaciones una resistencia muy fuerte.

No es en absoluto cierto que una larva planctónica como la trocófora de los Anélidos, Moluscos y otros grupos próximos represente un estado ancestral; es posible que constituya solamente un estado adaptado a la diseminación de la especie e inserto en el código genético de ésta. Por el contrario, atestigua con su plan estructural que los Anélidos y los Moluscos tienen afinidades estrechas y, probablemente, antepasados comunes, aunque lejanos.

Las especies pancrónicas, esas reliquias que perpetúan las formas antiguas y constituyen los vestigios de formas desaparecidas, aclaran no solamente la evolución en cuanto tal, sino también su mecanismo. La biología no ha extraído aún de ellas toda la información que contienen acerca del pasado del reino animal y los resortes de la evolución.

Algunos químicos deseosos de encontrar en ambos reinos hechos que den fe de la evolución y pongan al descubierto los lazos de parentesco existentes entre los diversos grupos de plantas o de animales, han afrontado estudios de gran interés. Por ejemplo, los fosfágenos, que los músculos contienen en cantidades importantes (hasta un
0,5
por 100 de la masa muscular), constituyen la principal reserva de enlaces fosfóricos ricos en energía que intervienen en el proceso de la contracción muscular. En los Vertebrados y los Procordados el fosfágeno es la fosfocreatina, mientras que en los Invertebrados es la fosfoarginina. En cualquier caso, los Anélidos disponen de un fosfágeno particular (fosfogliciamina o fosfotaurociamina), y algunos Equinodermos tienen fosfocreatina (ofiuras) o una mezcla de fosfoarginina y fosfocreatina (erizo de mar). A estas diferencias en la naturaleza química se suman las diferencias en las enzimas que intervienen en la cadena de reacciones.

Por medio de reacciones serológicas o inmunológicas y a través de la determinación de «proteínas específicas», pueden trazarse con gran precisión los límites de los grupos sistemáticos. La química, gracias a sus datos analíticos, orienta al biólogo y le proporciona pistas en su investigación acerca de las afinidades entre grupos de

animales o de plantas; aporta presunciones en favor de tal o cual interpretación y, en este sentido, desempeña un papel importante en la aproximación a la evolución real. Sin embargo, es de lamentar que algunos bioquímicos, al encontrar una misma sustancia o una misma reacción en grupos diferentes, concluyan, con demasiada frecuencia, la existencia de parentescos a los cuales se oponen formalmente los datos de la biología y la paleontología.

El descubrimiento de los grandes procesos bioquímicos fundamentales comunes a todos los seres vivos (ciclo del ácido cítrico, por ejemplo), ha reforzado la concepción monista de los dos reinos.

Hasta 1970 la biología molecular no aportó nada realmente nuevo al evolucionismo: las nociones de gen, información, mutaciones genéticas y cromosómicas, le son anteriores o extrañas. El descubrimiento de la estructura molecular de los ácidos nucleicos y del código genético ha permitido una mejor comprensión de la naturaleza y la acción del gen. Pero la genética es la ciencia de la conservación del patrimonio específico; sus relaciones con la evolución no son conocidas más que a través de teorías. Lo que es bien poco.

Las interpretaciones de los hechos evolutivos

Constatamos, no sin sorpresa, que las teorías que explican actualmente le evolución descansan sobre los mismos principios que las del pasado. A pesar de ello, no han disminuido en absoluto las pretensiones de sus partidarios, sino todo lo contrario, y muchos biólogos anglosajones e incluso franceses escriben sin vacilación alguna que el mecanismo de la evolución es conocido con toda precisión y certeza; tal es su fe en la doctrina. Se ha pasado del darwinismo al neodarwinismo y, recientemente al ultradarwinismo, que pretende ser no sólo el depositario exclusivo de la verdad en materia de evolución, sino incluso la evolución misma; resulta pues vana toda discusión con sus partidarios.

DARWIN no hacía esta ostentación de seguridad cuando escribía a uno de sus nietos: «Pero yo creo en la selección natural no porque pueda probar, en ningún caso concreto, que haya transformado una especie en otra, sino porque reúne y explica (a mi modo de ver) un conjunto de hechos de la clasificación, la embriología, la

morfología, los órganos rudimentarios, la sucesión y la distribución geográfica…» [2].

El ultradarwinismo actual, que pretende estar en posesión de la verdad, engaña a los biólogos deficientemente informados, les extravía y les inspira interpretaciones erróneas.

He aquí un ejemplo tomado al azar de una lectura: «Entre los microorganismos, el tiempo de generación es relativamente corto, y el tamaño de la población puede ser enorme. Por consiguiente, *la mutación actúa como un proceso de evolución* muy potente en períodos de tiempo más breves que en una población de organismos superiores [3] ».

Este texto da claramente a entender que las Bacterias actuales evolucionan muy rápidamente gracias a sus innumerables mutaciones. *Pero esto no es cierto*: desde hace milenios(e2), incluso miles de millones de años, las bacterias no se han despegado de su cuadro estructural, dentro del que han fluctuado y continúan haciéndolo. Por supuesto, en sus cultivos, el microbiólogo ve las especies bacterianas oscilar en torno a una forma media, pero esta constatación no autoriza a LEVINE a confundir dos fenómenos diferentes, como son la variación del código genético por copiado erróneo del ADN y la evolución. *Variar es una cosa, evolucionar es otra*; no nos cansaremos de repetirlo y demostraremos más adelante la exactitud de esta proposición.

Las Bacterias, que son a la vez los primeros seres vivos que aparecen y los más simples, ofrecen un objeto de estudio excelente para el genético y el bioquímico, pero carecen prácticamente de interés para el evolucionista.

A golpe de dobles(e3) postulados, de extrapolaciones temerarias —si no ilegítimas—, se crea y se instala una seudociencia en el corazón mismo de la biología, induciendo a error a muchos bioquímicos y biólogos que, de buena fe, creen demostrar la exactitud de nociones fundamentales que, de hecho, no lo son.

Una cita, tomada de un informe redactado por el bioquímico estadounidense T. T. MORA a propósito de los polisacáridos contenidos en la membrana celular muestra que no exageramos. Dice así: «Es evidente que una estructura específica tal es el resultado de la acción de enzimas, qué es a su vez un reflejo de la información genética transmitida por los ácidos nucleicos a través

de los ciclos de reproducción y *seleccionada por la evolución* [4] ».

Admitir que la acción de las enzimas, y sobre todo su formación, esté dirigida por el código genético, no autoriza a asegurar que la información haya sido seleccionada por evolución (MORA confunde el efecto con la causa); no se sabe estrictamente nada. El valor evolutivo de la selección no está hoy, en absoluto, mejor defendido que cuando DARWIN escribía a su nieto la frase que hemos citado más arriba. A quien dude todavía del fundamento de nuestras críticas le sometemos otro texto, escrito en 1969 por dos biólogos estadounidenses: J. L. KING y TH. H. JUKES («Non Darwinian Evolution», *Science*, 164,
788-197).

Comienza así:

«Darwinism is so well established that it is difficult to think of evolution except in terms of selection for desirable characteristics and advantageous genes. New technical developments and new knowledge, such as the sequential analysis of proteins and the deciphering of the genetic code, have made a much closer examination of evolutionary processes possible, and therefore, necessary [5] ».

Ninguna duda tiene cabida en la mente de estos biólogos. Convencidos de estar en posesión de la verdad, aceptan con serenidad el credo darwinista. Su buena fe no ofrece duda, pero les falta espíritu crítico, y la evolución que imaginan no tiene ninguna relación con la que efectivamente ha tenido lugar a lo largo del tiempo.

Los bioquímicos y biólogos que se adhieren con los ojos cerrados a la doctrina darwinista se esfuerzan por hacer corresponder con ella los resultados de sus trabajos, y orientan, en consecuencia, sus investigaciones, ya se refieran a la ecología, la etología, la sociología, la demografía (dinámica de poblaciones), la genética (la llamada genética evolutiva), o la paleontología… Esta intrusión de la teoría tiene tres efectos inoportunos: priva de objetividad a las observaciones y a las experiencias, las hace parciales y, lo que es más grave, engendra falsos problemas.

Atentos a la genética y la demografía, los darwinistas apenas han tenido en cuenta los fósiles [6] o, lo que es peor, les han aplicado, sin espíritu crítico alguno, las leyes de la genética;

operación que, dada nuestra ignorancia en lo referente a los lazos de parentesco existentes entre fósiles encontrados a menudo lejos unos de los otros, en yacimientos diferentes, tiene forzosamente un carácter arbitrario. El paleontólogo, que no puede recurrir a la experiencia cuando asevera que tal carácter es «genéticamente válido», no expresa más que una opinión de valor muy hipotético. Teniendo por cierta la hipótesis darwinista, interpreta los fósiles en función de ella; lógicamente no puede por menos que confirmarla: las premisas implican la conclusión. El error de método es flagrante.

Seguramente el darwinismo tenga en su haber algunos triunfos, de los cuales los más importantes son su simplicidad y su lógica. Tiene también pretensiones de ciencia exacta, aplicando a la evolución (a través de la genética) el cálculo de probabilidades, sin plantearse la cuestión previa y fundamental de saber si sus postulados son científicamente aceptables y si la utilización de las matemáticas responde a una necesidad.

El lamarckismo, no menos lógico que el darwinismo, si bien desde una perspectiva muy diferente, ve en lo viviente un sistema que reacciona por sí mismo a las influencias del medio y que es capaz de hacer concordar con éstas sus funciones. Es una teoría seductora. Pero, al no haber sido probada por vía experimental la herencia de los caracteres adquiridos, resulta difícil adoptarla como doctrina que explique la evolución. WINTREBERT (1962) ha intentado, no sin cierto éxito, darle una base química basándose en el poder reactivo (ante las modificaciones, ante las agresiones del medio) que posee todo ser vivo. Falta a WINTREBERT el apoyo de la experiencia. Sin embargo, no todo está dicho, y no nos sorprendería enterarnos, a través de la biología molecular, de que algunas de sus intuiciones contienen una parte de verdad.

Aunque el lamarckismo tenga sólidos fundamentos en las estructuras y funciones de los seres actuales y en los fósiles, es hoy, sobre todo, un modo de entender la naturaleza, más que una doctrina rígida que pretenda explicar exclusivamente la evolución.

Atenerse a las realidades, haciendo tabla rasa de las ideas *a priori*, así como de los dogmas, debe ser la norma de conducta del naturalista interesado en ver claro el problema de la evolución.

Primero, los hechos; a continuación, la teoría. El único veredicto que cuenta es el que da el tribunal de lo real, de lo concreto.

Es por esto por lo que los mejores estudios acerca de la evolución son obra de biólogos que no se dejan cegar por las doctrinas y que observan los hechos con minuciosidad y precisión, sin preguntarse si éstos están o no de acuerdo con las teorías establecidas. Tenemos hoy el deber de destruir el mito de la evolución, fenómeno simple, comprendido y explicado, que continúa desarrollándose rápidamente frente a nuestros ojos. Hay que hacer reflexionar a los biólogos sobre la ligereza de las interpretaciones y extrapolaciones que los doctrinarios presentan como verdades demostradas. La superchería es a veces inconsciente, pero no siempre, ya que hay quienes, por sectarismo, ignoran voluntariamente lo verdadero y rehúsan reconocer las insuficiencias y falsedades de sus creencias.

Sin duda, en materia de evolución no resulta sencillo acceder a la verdad; el pasado se presta poco a nuestra investigación y no permite experimentación alguna: lo ya ocurrido deja trazas, pero escapa a nuestra intervención. Al mismo tiempo, el evolucionista está siempre a la busca del tiempo pasado. Su búsqueda es difícil, pero no desesperada.

1. De lo simple a lo complejo. Evolución progresiva, evolución regresiva

La evolución implica una filiación sustancial y otras muchas condiciones. No está configurada por variaciones cualesquiera, incoherentes o que se sucedan sin orden.

En realidad, en una sucesión ordenada, la evolución se desarrolla fiel a tendencias que van acentuándose a lo largo de las generaciones; de esta manera construye líneas y grandes familias. Las tendencias evolutivas son tan numerosas que no oponen ningún obstáculo a la diversidad.

Si sus variaciones no estuvieran sometidas a reglas, las plantas y animales cambiarían de aspecto y estructura; algo así como el centelleo de una estrella o un corpúsculo que vacila presa del movimiento browniano. En tal caso, *la evolución no existiría*. La impresión de desorden que, a veces, deja el examen superficial de las faunas de ayer y de hoy, se borra cuando se profundiza en el estudio de las formas, se precisa la cronología y se descubren las líneas evolutivas.

Si la variación del mundo viviente fuese caos y desorden no podría ser objeto de una ciencia; a lo sumo, podría dar «materia» al cálculo de probabilidades.

La paleontología revela la existencia de líneas, pone al descubierto tendencias, analiza caracteres, apreciando los diferentes grados de evolución; asigna a cada género, a cada especie, el rango que le corresponde. Yendo más lejos, descubre que algunos caracteres son comunes a varias líneas, aprovechando este dato para establecer afinidades.

CUVIER hizo de la paleontología una ciencia el día en que al descubrir en un bloque de yeso la mandíbula de un mamífero, y al detallar sus caracteres, predijo cómo «debería» ser la estructura de los demás huesos, llegando incluso a anunciar la existencia de huesos marsupiales [7]. Sólo lo previsible pone de relieve un orden. La paleontología existe porque el caos se ha visto desterrado del universo de los seres vivos.

Es lamentable ver a los más encarnizados denostadores de la evolución orientada (G. SIMPSON, por ejemplo) actuar al modo de CUVIER, pero con menos genio, y dedicar lo más lúcido de sus esfuerzos a descubrir las líneas naturales, a poner de manifiesto las afinidades sistemáticas de los animales y a erigir árboles genealógicos. Cuando investigan como paleontólogos, olvidan sus refutaciones y teorías, trabajando fructíferamente.

Siguiendo el rastro a las plantas y los animales desde los tiempos más antiguos hasta la era terciaria o cuaternaria, se pone de manifiesto que las especies han ido complicando sus estructuras con arreglo a diversos procedimientos.

¿Cuál fue la amplitud de esta complicación y cuál fue su incidencia en la transformación de las especies?

Aunque el término de evolución «progresiva» no sea inadecuado, lo utilizaremos poco, ya que expresa un juicio de valor, más o menos disimulado y, a menudo, desprovisto de fundamento. El progreso en la biología implica dos estadios sucesivos, en los que el segundo supera al primero por algún carácter que le proporciona una ventaja al individuo, a la especie.

Según los darwinistas, la especie «progresa» porque los individuos, habiendo experimentado una variación favorable, se muestran aptos para una determinada forma de vida y una determinada función, dejando a la vez una descendencia más numerosa que su competencia. Los que no varían quedan eliminados más o menos rápidamente, según la importancia de la «presión de selección» a la que se vea sometida la población a la que pertenecen. Esta presión adquiere, a veces, tal fuerza que aquéllos que no varían mueren.

La selección natural *dirige* la evolución en bien de la especie: el ser evolucionado, el más apto con arreglo a la teoría, es progresivo en comparación con el que no cambia. Es, por lo tanto, cierto que el

término «progresivo» traduce un juicio de valor y asigna un fin a la evolución: dirigirse hacia lo mejor.

El tiempo y la complejidad

Desde su aparición en los mares de nuestro planeta, los seres vivos manifiestan de diferentes modos una doble tendencia: por un lado, se complican; por otro, se diversifican, siendo esto último, en cierto modo, complemento de lo primero. Para juzgar el crecimiento de la diversidad de las especies, basta con comparar la uniformidad de la flora de los primeros milenios, compuesta únicamente de bacterias y algas azules con la exuberancia de las Fanerógamas y Talofitas de la era Terciaria.

La evolución biológica en ningún momento ha abandonado la tendencia a ir de lo simple a lo complejo. De ahí la hipótesis de que las formas vivas más simples fueron las primeras en aparecer en la superficie de nuestro globo —en el océano primigenio, Pangea— y que sus restos fósiles se encuentren en los sedimentos más antiguos de la corteza terrestre.

Los biólogos están de acuerdo en reconocer que las Bacterias y las Cianofíceas o algas azules son los seres vivos de estructura más simple; se les reúne en un gran conjunto, las Esquizofitas o Procariotas, que se caracterizan por la ausencia de núcleos con contorno definido (sin membrana nuclear), de cromosomas (su hélice de ADN no forma con las proteínas un orgánulo definido), de mitocondrias y de ergastoplasma, por la reproducción por bipartición y eventualmente una sexualidad limitada, sin intercambio complejo del patrimonio genético.

En algunos puntos privilegiados del globo, los sedimentos precámbricos que han escapado a la acción destructora del metamorfismo contienen fósiles de tamaño microscópico cuya naturaleza parece haber sido reconocida con certeza hace poco tiempo.

En los más antiguos, que se encuentran en los «cherts» de la *Fig Tree Formation* de Barberton Mountain Land (Transvaal oriental), BARGHOORN y SCHOPF (1966) han encontrado trazas de materia orgánica y algunos microfósiles. Estas rocas, datadas midiendo la radiactividad (pérdida) del estroncio y el rubidio, se habrían formado por sedimentación hace aproximadamente ¡

3200
millones de años!

La materia orgánica se presenta bajo la forma de «rastros» irregulares sin estructura precisa, que llegan a medir hasta
9 µ
de longitud. Tal vez se trate de coágulos formados de aminoácidos y utilizados como alimento por las bacterias, sus coetáneas.

Los seres organizados encontrados en estos «cherts» serían pequeñas bacterias, como la *Eobacterium isolatum*, minúsculo bastoncito (menos de
0,7
µ de longitud por
0,2
de diámetro) limitado por una membrana (de
0,15 µ
de espesor). Se supone que hicieron uso de los aminoácidos, incluso de las proteínas contenidas en los mares.

En buena lógica, se puede imaginar que las bacterias quimiótrofas (ferrobacterias) vinieran más tarde, habiéndose establecido la autotrofia cuando los «prebiontes» (su alimento) dejaron de formarse debido al cambio de las condiciones físicas reinantes en las aguas y fuera de ellas.

Es posible que unas esferas, que miden de 17 a 20 micras de diámetro (*Archaeosphaera barbertonensis*), encontradas en la *Fig Tree Formation*, sean Cianofíceas, es decir, Esquizofitas provistas de clorofila, agente de la fotosíntesis, que va acompañada de un desprendimiento de oxígeno. Este gas escapa de las aguas. Desde aquel momento comenzó a formarse una atmósfera «respirable» alrededor de la tierra.

Otros «cherts» precámbricos, menos antiguos que los de la *Fig Tree Formation* (
2300
millones de años), procedentes de la *Gunflint Formation*, no lejos de las orillas del Lago Superior en el Ontario Occidental, han aportado varios fósiles de vegetales (ocho géneros y doce especies descritas), de los cuales algunas formas filamentosas se emparentan con Cianofíceas parecidas a las *Oscillatoria* y *Rivularia* de hoy en

día; hay también formas esféricas sencillas o masas centrales de las que irradian filamentos simples o ramificados que no poseen equivalente en la flora actual. En los mismos sedimentos se han encontrado Bacterias filamentosas (de hasta varias centenas de micras de longitud) emparentadas, al parecer, con nuestras ferrobacterias del género *Crenothrix*.

El *Kakabekia*, microorganismo en forma de sombrilla descubierto por vez primera en esos sedimentos, ha sido encontrado vivo en diversos suelos (Alaska, Islandia, Hawai); se trata de una esquizofita de afinidades inciertas.

Algunos organismos esféricos, bastante complejos, podrían ser algas, pero no parecen tener descendientes entre las especies actuales. Añadamos que el análisis químico ha revelado que los sedimentos de *Gunflint* contienen pristano y fitano, dos hidrocarburos que parecen proceder de la descomposición de la clorofila que, a menudo, son clasificados por esta razón entre los fósiles químicos.

En las rocas precámbricas no metamorfizadas (calcáreas, areniscas, dolomitas) de la cuenca del Amadeus (Australia central) (*Bitter Springs Formation*), cuya edad está calculada en aproximadamente
1000
millones de años, SCHOPF (*in* BARGHOORN, 1971) ha encontrado numerosos microfósiles que comprenden tres especies de bacterias, veinte de algas azules, dos de auténticas algas verdes y, además, dos fósiles considerados (sin seguridad) como hongos.

El conjunto de estos fósiles, cuya edad se escalona entre los
3200
y los
1000
millones de años, son el testimonio de dos etapas capitales de la evolución.

La primera es la etapa *prebiótica*, como revelan los rastros orgánicos, amorfos, que habrían sido simultáneamente los ladrillos y el alimento de los primeros seres organizados.

La segunda es la *génesis de las Esquizofitas* (Bacterias y Cianofíceas). Con las Cianofíceas hizo su aparición la clorofila sobre

nuestro planeta [8].

En cuanto al estado celular, probablemente tuvo su origen en las algas durante el precámbrico superior, hace unos
1000
millones de años.

¿Cómo se produjo la transición de la estructura «*esquizofita*» (la de las Bacterias y Cianofíceas) a la estructura celular verdadera, con un núcleo rodeado de membrana y con cromosomas de estructura verdadera, definida, en los que están incluidas las macromoléculas de ADN combinadas, de modo aún mal conocido, con proteínas filamentosas? Lo ignoramos, la paleontología guarda silencio sobre este punto. No faltan hipótesis, pero no aportan nada consistente.

No existe solución de continuidad entre las algas unicelulares y las pluricelulares. A veces una misma especie recorre un ciclo regular que atraviesa una fase unicelular y otra pluricelular. Así, los botánicos no dudan en colocar a la mayor parte de las protofitas entre las algas, entre las que, por otra parte, las categorías celulares no son nada numerosas y donde la formación de órganos es siempre reducida.

Del lado animal, la separación en uni y pluricelulares permanece abierta. El origen de los Metazoos, a despecho de las investigaciones que le han sido consagradas, no es conocido todavía.

Por varias razones, y a causa de las diferencias existentes entre las formas de división celular, no se puede designar como antepasado de los Metazoos a ningún grupo de Protozoos actual. Entre los biólogos va tomando cuerpo la tendencia a considerar a los Protozoos como descendientes de protofitas sin pigmentos y a los Metazoos, descendientes de las algas pluricelulares decoloradas (*ver* GRASSÉ, 1952, 1969). En ausencia de fósiles no se pueden dar a este problema más que soluciones provisionales y extremadamente hipotéticas.

La evolución, desde su comienzo (la paleontología lo prueba), fue «complejizante» y extensiva, es decir, en ningún momento dejó de producir algo nuevo y más complejo.

Estos caracteres son de una importancia extraordinaria y exigen una seria reflexión.

Si la evolución hubiera recibido los materiales que la alimentan al azar, según iban apareciendo, sería imprevisible y las especies se

encontrarían distribuidas en el tiempo de cualquier modo, desordenada y caóticamente. Sin embargo, el paleontólogo constata lo contrario, hasta tal punto que puede predecir sin temeridad alguna el orden de las génesis según un modelo de complejidad creciente. Así, la fauna precámbrica, conocida sobre todo por los fósiles de los sedimentos de Ediacara (Australia) y de algunos yacimientos de África del Sur, Inglaterra, Colorado y California, es efectivamente tal y como se preveía: se compone fundamentalmente de Esponjas y Cnidarios, a los cuales se unían formas de afinidades inciertas de las que hablaremos más adelante. En Ediacara, en las arenas cubiertas de una pequeña capa de agua, vivían animales semejantes a las pennatulas actuales, mientras que sobre ellos flotaban medusas y Sifonóforos (o supuestos Sifonóforos). Estas especies flotantes eran hasta tal punto abundantes que el período en el cual las medusas se fosilizaron ha sido llamado la «era de las medusas».

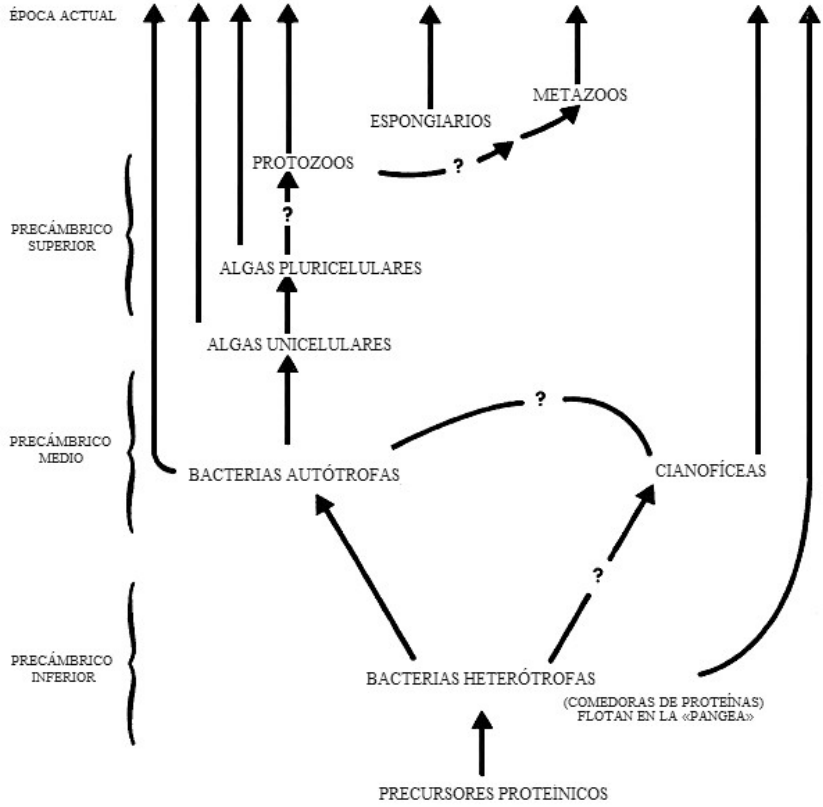


Fig. 1. Relaciones filéticas entre los grupos de seres vivientes al comienzo de la evolución. Han sido postuladas otras relaciones (GRASSÉ, 1952). La hipótesis, según la cual habrían salido de las bacterias dos clases de organismos celulares no es absurda, pero parece poco probable. La primera, los Protozoos bacteriófagos (tipo *Bodo*, por ejemplo), procederían de las Bacterias heterótrofas; la segunda, las Protofitas autótrofas, habrían tenido por antepasados a las Bacterias autótrofas. La uniformidad del plan y de los orgánulos celulares en los dos Reinos hacen poco probable un doble origen de la célula.

El grado de complejidad del animal y la fecha de su aparición están relacionados. Como ha dicho SAINT-SEINE (1951) con ingenio: los fósiles han llegado puntualmente a la cita del cálculo.

Si la evolución ha tenido su calendario es porque ha obedecido las leyes que el biólogo y el paleontólogo pretenden desvelar.

El orden cronológico

Una de las etapas principales de la evolución biológica ha sido el paso del estado unicelular al pluricelular.

Los animales pluricelulares más antiguos y simples son los Espongiarios(1) y los Cnidarios. Su estructura, cualquiera que sea la apariencia exterior, se aproxima a la de un saco cuya pared estuviera formada por dos capas u hojas celulares adosadas; de aquí el término *diploblásticos* con el que se les designa.

Sus células, en el curso de la ontogénesis, se diferencian en varias categorías más o menos especializadas (células con collar, células venenosas…) pero no elaboran órganos netamente diferenciados. En las especies coloniales, el individuo, el zooide tiene, de hecho, un oficio, y se especializa en una función: flotador, gastrozooide (función digestiva), gonozooide (reproductor), dactilozoide. La incapacidad de adquirir órganos no se opone, sin embargo, a la complicación en la forma, como lo demuestran los Hexactinélidos, entre los Espongiarios, y los Sifonóforos y Actiniarios entre los Cnidarios, pero el saco nunca tiene más que una abertura y constituye la estructura fundamental de los organismos diploblásticos.

Entre las esponjas, los células nerviosas y sensoriales están imperfectamente diferenciadas. La característica fundamental del sistema nervioso es la unión sináptica de la neurona con otra célula; ahora bien, la sinapsis no parece existir entre las esponjas, al menos bajo un aspecto identificable.

Los Espongiarios, los Cnidarios y los Ctenóforos merecen el nombre de *Apáticos*, que les dio LAMARCK, no solamente porque su equipo sensorial sea rudimentario, sino porque no poseen en una parte delimitada del cuerpo una musculatura que les permita realizar movimientos rápidos y coordinados.

La anatomía de los Cnidarios sobrepasa en complejidad a la de los Espongiarios, sus células nerviosas y musculares están individualizadas. Pero nadie sabe si los Cnidarios y los Ctenóforos, también diploblásticos, proceden de los Espongiarios o comparten con éstos los mismos antepasados.

Ignoramos el orden cronológico según el cual aparecieron los

diversos tipos de invertebrados triploblásticos, porque sus primeras formas no han dejado ningún fósil.

La adquisición de una tercera hoja celular, el mesodermo, confirió a los Metazoos potencialidades nuevas muy extensas, en especial la capacidad de formar órganos individualizados (que aseguran una función precisa). En varios organismos triploblásticos, incluyendo a los Vertebrados, se ha puesto en evidencia experimentalmente la inducción producida bien por el mesodermo, o por sus derivados, o bien por el mesénquima, inducción que desempeña un papel primordial en la organogénesis. Es seguro que los animales, al hacerse triploblásticos, dieron un gran paso hacia una mayor complejidad.

En todos ellos (a excepción de los Equinodermos, tan especiales en muchos aspectos) se manifiesta una fuerte «regionalización» del cuerpo, una notable «cefalización», que concentra la mayor parte de los receptores sensoriales y los centros nerviosos en la región anterior del cuerpo. A partir de aquí, la información que llega del exterior es centralizada y procesada por el cerebro. El animal ha ganado en autonomía, adquiriendo una tercera hoja que es la constructora de los músculos de contracción rápida y, entre los Vertebrados, del esqueleto.

La diferenciación de órganos internos especializados no compromete en nada la unidad del ser porque los papeles asumidos, en particular por el sistema nervioso y las glándulas endocrinas, hacen solidarios entre sí a los órganos. Así, se reafirma la individualización del ser y el comportamiento progresa inmensamente, haciendo uso de una información sobre el mundo exterior cada vez más extensa, información que procesa sutilmente el sistema nervioso central.

Tras la aparición del mesodermo, los planes de organización se multiplican y se complican. En primer lugar se formaron nuevos fila de Invertebrados con planes de organización cada vez más complejos. Por desgracia, la paleontología no revela nada de su origen y muy poco de los comienzos de su historia.

Seguramente de ellos salieron los Cordados, que comprenden a los Procordados y los Vertebrados. Los Cordados (Metazoos provistos de un eje esquelético sobre el cual «discurre» el sistema nervioso en forma de tubo y debajo del cual se extiende el tubo

digestivo, cuya región anterior o faringe garantiza la función respiratoria) tendrían, según varios zoólogos, a los Equinodermos por antepasados. Estos fundan su opinión en datos anatómicos y embriológicos. El paleontólogo JEFFERIES, tanto por sí mismo como en colaboración con PROKOP (1972), estima que los Cordados proceden de un grupo de Equinodermos muy antiguos (los Calcicordados), que vivían en el Cámbrico y el Ordovícico. Estos Calcicordados tenían el cuerpo encerrado en una teca compuesta de placas calcáreas yuxtapuestas, siendo cada una de ellas (mineralógicamente hablando) un cristal único, cosa que caracteriza a los Equinodermos más evolucionados. La boca se abría en la extremidad anterior de la teca; las cavidades internas eran la bucal, la faringe, los celomas anterior y posterior y, a veces, otras cámaras. Los poros que taladraban la teca eran hendiduras branquiales. El cuerpo se continuaba hacia atrás en una cola o pedículo, por el que discurría una cuerda dorsal. El cerebro se hallaba en la extremidad anterior del pedúnculo con un ganglio piriforme delante y, a veces, trazas de nervios craneales.

El artículo de JEFFERIES (1968) está ilustrado con figuras muy sugerentes; la reconstrucción que hace del cerebro está presentada con especial nitidez. Al no haber visto las piezas originales, es difícil decir qué parte corresponde a la realidad y cuál a la imaginación. En especial, no resulta nada seguro que la formación existente en el eje del pedúnculo y de la cual JEFFERIES hace una cuerda, sea en realidad tal órgano.

La interpretación del paleontólogo inglés es rechazada de plano por UBAGHS (1970), especialista en el estudio de Equinodermos fósiles, que la considera como una simple hipótesis y escribe: «como evidentemente no se conoce nada, ni puede conocerse con certeza, acerca de las partes blandas de organismos desaparecidos, la hipótesis de base es imposible de verificar». Menos severo que UBAGHS (se conocen las partes blandas de un número nada despreciable de fósiles), estimamos, sin embargo, que sería imprudente aceptar sin serias reservas las reconstrucciones de órganos y las ideas de JEFFERIES por su excesiva audacia.

Los Procordados, antepasados probables de los Vertebrados, blandos y desnudos, no han dejado más que unos muy escasos fósiles: los *Permosoma* (Pérmico de Sicilia), próximos a los

Chelysoma actuales, y las espículas de *Didemnum* (Ascidiáceos) de la Era Terciaria aportan poca información acerca de los orígenes del tipo [9].

El orden de aparición de los Vertebrados es el siguiente: Agnatos, Peces [10], Anfibios, Reptiles, Mamíferos [11]. Se caracteriza tanto por una continua complicación estructural como por una incesante elevación del siquismo.

Éste es un hecho establecido gracias a un número muy elevado de hallazgos.

Como acabamos de decir, los Procordados (ascidias, *Amphioxus*) prefiguran de alguna manera a los Vertebrados. No faltan argumentos en favor de esta opinión. El plan de organización de un renacuajo de ascidia, de una apendicularia, de un *Amphioxus* es, en sencillo, el de un vertebrado. En el huevo de una ascidia, de un pez, incluso en el de un anfibio, los mapas de los esbozos presumibles tienen semejanzas entre sí que sobrepasan con mucho la simple analogía.

En cuanto a la designación precisa del grupo de invertebrados del que procede el tipo Cordados, ésta es otra cuestión. Los zoólogos han señalado que la metamería de los esquicios mesodérmicos, las relaciones del aparato excretor y las gónadas con las cavidades mesodérmicas (celoma) aproximan a los vertebrados a los Anélidos. Estas constataciones no dejan de ser impresionantes, pero el abismo que separa a un Anélido poliqueto de un *Amphioxus* es inmenso. ¿Cuántos eslabones separan al uno del otro? Nadie puede decirlo.

Nos parece fútil para nuestros fines el pasar revista a las otras hipótesis propuestas por los filogenistas; no resultan satisfactorias porque no se apoyan en ningún dato paleontológico.

Como no sabemos prácticamente nada de los grandes tipos de organización, el campo queda abierto a las hipótesis, y tan sólo a las hipótesis.

¿Cómo se puede *afirmar* que tal o cual mecanismo haya presidido la creación de planes de organización cuando no se dispone para responder más que de la imaginación? Nuestra ignorancia es tal que ni siquiera osamos asignar un tronco ancestral, aunque sea de modo poco preciso, a los fila de los Protozoos, los Artrópodos, los Moluscos, los Vertebrados…

La ausencia de registros concernientes a las «grandes jornadas»

de la evolución hipoteca brusca y gravemente toda teoría transformista. Sea como sea, una zona de sombra se extiende sobre la génesis de los tipos fundamentales de organización, y nosotros no sabemos cómo disiparla.

La complicación orgánica, que alcanza su grado más alto en la anatomía y la arquitectura citológica del sistema nervioso y los órganos sensoriales, ha venido seguida por un desarrollo concomitante de las facultades síquicas, traducido en un comportamiento cada vez más preciso, variado y plástico.

Todo ser viviente dotado de movilidad pone de manifiesto una conducta adaptada a sus necesidades y adecuada para asegurar su persistencia. Esta propiedad asombró a ERNST HAECKEL (1877) hasta el punto de hacerle atribuir a la célula una *facultad «sicógena»*, tan esencial a sus ojos como la asimilación o la reproducción.

El padre del materialismo monista, el apóstol del ateísmo, va mucho más allá. Escribe en su respuesta a VIRCHOW (pág. 64 de la traducción francesa de 1882): «… encontramos entre las células únicas, que viven aisladas, las mismas manifestaciones de vida síquica —sensación, percepción, voluntad, movimiento— que entre los animales superiores constituidos por un gran número de células», y habla incluso del *alma celular*. Los hechos sobre los que se apoya HAECKEL son incontestables, y en el curso de la evolución, el siquismo, término vago pero que designa bien la totalidad del comportamiento, no ha cesado de desarrollarse, de aumentar, mientras que la masa nerviosa iba en incremento y se especializaban sus partes.

El protozoo ameboide, a pesar de su aparente simplicidad, reacciona a la luz, al calor, a las sustancias químicas (ácidos, bases), a las conmociones mecánicas, «elige» su alimento y rechaza el que no le conviene. Los Infusorios ciliados muestran un comportamiento aún más complejo: adquieren durante cortos espacios de tiempo comportamientos condicionados y se supone que algunos cilios de su membrana celular asumen funciones sensoriales.

Existen, pues, en los Protozoos, esbozos de funciones musculares y nerviosas. En los Metazoos (excepción hecha de los Espongiarios), estas funciones se han convertido por medio de una lenta evolución en patrimonio de células especializadas: neuronas y fibras

musculares.

El comportamiento depende de la estructura del sistema nervioso. Así, el de los diploblásticos, acéfalos sin excepción y desprovistos de cerebro, es de una simplicidad extremada, hasta el punto de que estos «apáticos» fueron clasificados durante más de un siglo como plantas.

La cefalización propiamente dicha no se manifiesta hasta los triploblásticos, y alcanza su apogeo en los Artrópodos y Vertebrados, cuyo comportamiento es ya muy complejo.

En los Artrópodos el cerebro está constituido por partes muy especializadas anatómica y funcionalmente: la conducta, aunque refinada, no es por ello menos automática. Las construcciones, los trabajos de los Insectos, ya sean sociales o no, resultan actos estereotipados ligados los unos a los otros. Los complejos instintivos dirigen y desencadenan mecanismos innatos cuyos determinantes iniciales están insertos en el ADN cromosómico, como lo están los caracteres anatómicos o funcionales.

Con el cerebro de los Vertebrados y sus múltiples centros, el comportamiento tiende a liberarse de los mecanismos y directrices genéticas; gana plasticidad, aunque siga siendo en gran medida innato; no se libera completamente más que en el hombre, cuya evolución y cerebro presentan singularidades que le son propias **[12]**.

De la breve exposición anterior se concluye que la evolución ha seguido, en su conjunto, la senda de la complicación estructural, lo que se ha visto acompañado de una continua elevación del siquismo, ya sea automático, y alcanza su apogeo en los Insectos, ya sea plástico, y se desarrolla en el Hombre.

Sin embargo, el lector no debe pensar que la marcha de la evolución ha sido rectilínea, directa. Sus caminos fueron tortuosos; a menudo han conducido a callejones sin salida, y numerosas líneas han abortado, no han podido superar la prueba del tiempo y han desaparecido. Pero los fracasos, del mismo modo que las desviaciones de los mecanismos transformadores, no han detenido la progresiva complicación tanto anatómica como síquica. Y esto es lo esencial, porque en materia de evolución, son los resultados lo único que cuenta.

La evolución regresiva

Algunos biólogos han insistido en el carácter regresivo de la evolución; consideran que los organismos uni o pluricelulares portadores de clorofila, que utilizan la energía solar en la síntesis de su propia sustancia a partir de compuestos químicos simples —dióxido de carbono (CO_2), agua, sales minerales nitrogenadas (con muy rara utilización de nitrógeno atmosférico)— son superiores a todos los demás por su poder de síntesis. No dependen, en lo que a su alimentación se refiere, de ningún ser viviente, cosa que no ocurre con los seres aclorofílicos (sin clorofila) **[13]**. Pero ¿son los heterótrofos verdaderamente regresivos?

Los seres vivientes autótrofos, al efectuar su propia síntesis y la de sus sustancias de reserva, introdujeron en los medios acuáticos marinos una masa considerable de proteínas, de glúcidos, que fueron utilizados por seres nuevos que habían renunciado a la fotosíntesis.

Estos animales, los heterótrofos, por llamarles por su nombre, metabolizan los restos de los autótrofos disueltos o dispersos en el medio, ingieren y posteriormente digieren a los autótrofos, o penetran en ellos y toman los productos necesarios para su economía (saprofitismo, depredación, parasitismo). En todos los casos, las macromoléculas elaboradas por los autótrofos, desnaturalizadas y despolimerizadas, se vuelven a incorporar para la síntesis de los heterótrofos.

Estos seres han perdido una facultad, la fotosíntesis, pero han adquirido otras que requieren numerosas enzimas y largas cadenas de reacciones químicas.

Al calificar esta evolución de regresiva, se formula un juicio de valor, operación completamente subjetiva. Pero podríamos, tomando en consideración la adquisición de estructuras y facultades nuevas, calificarla (por los mismos motivos) de progresiva. Estos calificativos traducen apreciaciones que no tienen en cuenta la totalidad de los hechos.

De ordinario, se atribuye la pérdida de la capacidad fotosintética a una mutación que hace desaparecer los cloroplastos (acloria**(e4)**) o que se opone a la síntesis de clorofila.

Un fenómeno similar se produce en más de un caso entre las protofitas, porque entre las Euglenas, Cryptomonadales,

Chrysomonadales, *Peridinium* y Volvocales, las especies aclóricas y saprofitas existen en mayor o menor número.

Se conocen mejor aún las mutaciones que se producen, diversamente y en variados momentos, en los cloroplastos de las Fanerógamas; véase en particular el estudio de VON WETTSTEIN acerca de los mutantes clorofílicos de la cebada. Pero el organismo brutalmente privado de su dotación de plastidios no sobrevive más que si dispone, en el momento de la mutación y aun anteriormente, de las enzimas indispensables para la digestión y la reestructuración de moléculas de materia orgánica, que se convierten en su fuente de nitrógeno y carbono.

Entre las euglenas, cuya nutrición ha sido objeto de multitud de estudios serios, algunas especies se ven forzadas a la autotrofia; cuando se ven privadas de luz o de CO_2, unas mueren, incluso aunque el medio en que viven sea rico en materias orgánicas (*Euglena klebsii, E. pisciformis*…); otras son autótrofas facultativas. En la oscuridad o en ausencia de CO_2, si el medio contiene compuestos orgánicos (carbono y nitrógeno), se multiplican bien (*Euglena gracilis*).

Estas euglenas llevan en sí los medios para hacer uso de las materias orgánicas disueltas en el medio en el que nadan. Hay multitud de algas unicelulares que son capaces de vivir como autótrofas o heterótrofas con arreglo a las condiciones del medio en el que viven (el caso de las algas *Bracteacoccus* de la gruta de Lascaux). Se les califica de mixótrofos. La mixotrofia potencial es la condición que permite la supervivencia de los mutantes aclóricos.

Podemos extraer dos enseñanzas de estos hechos: 1.º El paso de la nutrición autótrofa a la heterótrofa depende de una variación sustantiva, o bien de las condiciones del medio. 2.º La supervivencia implica de forma imperativa en ambos casos, que el organismo esté dotado de un cierto arsenal enzimático y que sus membranas disfruten de ciertas propiedades (permeabilidad) en el momento mismo en que se produce la transición de autótrofo a heterótrofo.

Este arsenal, que algunos denominan preadaptativo, no se explica por medio de una mutación «premonitoria»: hay demasiados enzimas en juego para que puedan obedecer a una sola variación. Es cierto que la penicilinasa, enzima que hace a las bacterias

resistentes a la penicilina, es debida a una mutación; pero conviene recordar que se trata de la variación de un gen, y no de varios. Las enzimas implicadas en la heterotrofia ejercen, tengámoslo presente, acciones complementarias las unas de las otras.

Si la transición de autótrofo a heterótrofo se ha producido accidentalmente, como parecen indicar las observaciones realizadas sobre las euglenas actuales, fue precedida por una evolución invisible que dotó al organismo de un doble mecanismo de seguridad, puesto al descubierto tan sólo por las circunstancias.

El estado mixótrofo latente es la condición *sine qua non* de la supervivencia de los mutantes aclóricos.

¿Cómo explica el darwinismo la regresión y el animal regresivo? Antepone, como en otras ocasiones, el mismo postulado de la selección, siempre presente, que opera en favor del más apto. Deduce que toda pérdida de un órgano, incluso de una función, sufrida por una especie que sobrevive, le es beneficiosa. En efecto, en el marco de la teoría, admitir que la selección actúa en contra de la especie resultaría un contrasentido; en todo caso, podría estimarse que algunas variaciones pueden ser neutras.

Las mutaciones (o supuestas mutaciones) de gran alcance, no ponen necesariamente en peligro al animal. Por ejemplo, la pérdida de miembros que sufren muchos lagartos y todas las serpientes no han puesto a estos animales en situación de inferioridad, dado que existen hoy en día, mientras que multitud de poderosas líneas de Reptiles tetrápodos se han extinguido.

Las serpientes frecuentan las aguas marinas litorales, los pantanos, los ríos, los prados, los bosques. Existen numerosas especies arborícolas (*Dendroaspis*) y otras subterráneas (*Typhlops, Calabaria*…).

Los lagartos ápodos llevan una vida libre en las praderas (*Anguis, Ophioides*…), se refugian en la arena (*Scincus*) o se deslizan en las galerías subterráneas (*Feylinia, Anphisbaenidae*).

La transformación de un Reptil tetrápodo se ha producido varias veces en líneas diferentes. Se observa entre los Scincomorfos, en los *Scindidae, Feylinidae, Cordylidae* y *Teiidae* (*Scolecosaurus, Ophiomodon*); entre los Anguiliformes y los Anguínidos, a los que

se añaden todos los Anfisbénidos, excepción hecha del género *Bipes*, que ha conservado las patas anteriores.

La condición esencial para la locomoción serpentiforme es el alargamiento general del cuerpo. Un animal rechoncho no puede «ondularse». El alargamiento en los Escamosos (saurios y serpientes) está ligado al aumento en número de las vértebras presacras: lo que se alarga es, por lo tanto, el tronco. El esternón no experimenta un crecimiento concomitante, las costillas se vuelven flotantes y el cuerpo adopta una forma cilíndrica. Añadamos que las costillas y los huesos segmentarios aumentan en número, del mismo modo que las vértebras presacras. Las vísceras, pulmones, riñones, vasos sanguíneos y conductos urogenitales participan del alargamiento del cuerpo. Los riñones, testículos u ovarios se desplazan en sentido longitudinal, situándose los unos ante los otros. En las serpientes *Boidae, Colubridae* y *Xenopeltidae* existen dos pulmones funcionales, pero el derecho es tres veces mayor que el izquierdo, que se hace rudimentario en diversas culebras y crótalos y está ausente en las víboras e *Hydrophynae* (serpientes marinas).

El alargamiento del pulmón derecho es tan considerable en algunas especie (*Enhydrina, Acrochordus*, etc.) que el órgano llega por detrás ¡hasta la cloaca! El pulmón estirado no es respiratorio en su totalidad; sólo su parte anterior (primer tercio) tiene una estructura alveolar; el resto no es más que un saco aéreo de funciones mal conocidas. Finalmente, en algunas especies, la pared de la tráquea produce una evaginación membranosa (*Naja*) que puede adoptar una estructura más o menos alveolar del pulmón (vipéridos). La muy peculiar fijación de la mandíbula al cráneo permite agrandar considerablemente la abertura bucal y, por tanto, la ingestión de presas voluminosas. Puede afirmarse, tan grande es la evidencia, que la anatomía de los Ofidios está modificada en todas sus partes.

Si la evolución de los Escamosos ha sido supresora en algunos aspectos, no puede, sin embargo, afirmarse que sea regresiva, ya que ha engendrado formas perfectamente equilibradas con su anatomía y su fisiología y notablemente robustas y resistentes a las variaciones del medio. Las ha dotado de armas extremadamente perfeccionadas, producto de una de las más extraordinarias creaciones químicas: los venenos.

La evolución de las serpientes no se ha efectuado en absoluto de manera desordenada. Ha sido dirigida por una modificación profunda y previa de la forma general; la apodia o subapodia ha interesado sólo a las especies de cuerpo alargado y cilíndrico. Si la pérdida de miembros hubiese tenido lugar, como pretenden los darwinistas, por medio de mutaciones sustractivas, ésta no hubiera podido darse más que después del estiramiento del cuerpo, cuando la locomoción se hubiese vuelto ondulante y cuando los dos pares de patas, demasiado alejados el uno de otro, no mantuvieran ya el cuerpo levantado del suelo.

En diversos lagartos las patas persisten en un estado rudimentario, y son apenas funcionales en algunas pocas especies, por ejemplo, en el escinco mediterráneo (*Chalcides lineatus*), que las utiliza en la marcha lenta, pero que, cuando se desplaza rápidamente, las abate a lo largo del cuerpo sobre unas depresiones (coadaptaciones), y se mueve como una serpiente.

De hecho, la variación que dirige todas las demás es el aumento del número de vértebras presacras. Tenemos ahí, en cierto modo, la prueba de que *la variación no tiene valor evolutivo más que si aparece en el momento adecuado*.

Existe una correlación entre el número de vértebras presacras y las proporciones del cuerpo. He aquí unas cifras tomadas de GUIBE (1970). Conciernen a los saurios: *Eumeces schneideri*: 30 vértebras presacras, miembros anteriores y posteriores normales. *Lygosoma punctulatum*: 36 vértebras presacras, miembros anteriores y posteriores reducidos, pérdida de una falange en el dedo IV; *Chalcides lineatus*: 48 vértebras presacras, miembros reducidos, pérdida de todas las falanges en el dedo I; *Seps tridactylus*: 52 vértebras presacras, miembros reducidos, desaparición total del dedo I; pérdida de falanges del dedo V; *Anguis fragilis* (el lución): 65 vértebras presacras, miembros reducidos, desaparición total de los miembros delanteros y posteriores. El número de vértebras presacras sobrepasa la centena en los Anfisbénidos y los *Dibamus*, los Gekkonidos más aberrantes, todos ellos ápodos e hipogeos **[14]**.

El *primus movens* de la estructura serpentiforme se encuentra en una modificación de la embriogénesis: la formación de nuevas vértebras impone la de nuevos somitas; el número de arterias y de

nervios segmentarios se hace igual al de vértebras (ver RAYNAUD, 1963). Como en innumerables casos, la variación concierne, pues, primero a la embriogénesis, y las correlaciones, observadas al término de la ontogénesis, se ven obligatoriamente precedidas, preparadas, por cadenas de reacciones químicas que actúan según un orden fijo.

RAYNAUD (1972) estudió la embriología de los Reptiles ápodos o con miembros vestigiales. Concluye de sus observaciones y experiencias que, como hemos ya constatado, en las Aves, las masas mesodérmicas metaméricas o somitas son las inductoras y organizadoras de los miembros. En los ápodos, los somitas habrían perdido esta propiedad. Este autor ha confirmado, al mismo tiempo, que los somitas(2) de los embriones de los ápodos son mucho más numerosos que los de los embriones de los tetrápodos: 32 en el lagarto verde, 70 en el lución, 173 en una culebra.

Si la detención total o parcial del desarrollo de los miembros se explica por la pérdida de poder inductor de los somitas del tronco, no tenemos la menor idea de la causa que provoca la multiplicación de los somitas y modifica profunda y correlativamente la estructura de numerosas partes del embrión.

El carácter ordenado de la formación de los Reptiles serpentiformes se manifiesta con toda claridad en la disposición de los músculos. La reptación ondulante sólo se obtiene por medio de un dispositivo esquelético muscular y nervioso, que se repite a lo largo del raquis vertebral; los sucesivos músculos se contraen con arreglo a un ritmo regulado por los centros nerviosos adecuados.

Entre las particularidades de la musculatura se inscribe el gran desarrollo de aponeurosis intersegmentarias sobre las que se insertan los músculos. Al haberse reducido las superficies óseas, no pueden proporcionar sustentación a los potentes músculos reptadores.

Así, en todos los sentidos, la musculatura del episoma de los serpentiformes es muy particular y responde al modo de locomoción adoptado por el animal. Presenta diferencias (Boíidos, Vipéridos, Colúbridos) que responden a distintos modos de reptación.

Lo más importante en esta correspondencia es que de alguna manera es proporcional al número de vértebras presacras

suplementarias. *Lygosoma*, que tiene tan sólo 36 vértebras presacras, muestra únicamente una pequeña reducción de sus miembros con la pérdida de una única falange en el dedo IV.

Entre las serpientes no se trata en absoluto de esas mutaciones brutales que conciernen a la patología de los genes y constituyen uno de los más importantes capítulos de la teratología. La apodia se acompaña de la construcción de un ser, armonioso a pesar de su aspecto aberrante, cuyas partes se mantienen en estrecha correlación. Una serpiente o un lución no son monstruos, producto fallido de sucesivos procesos aleatorios.

La reducción de los miembros no es en absoluto aleatoria, puesto que viene de alguna manera determinada por el número de vértebras presacras. Nosotros sabemos que tales argumentos, por concretos, por serios que sean, no podrán nada contra los doctrinarios. Conocemos de antemano su respuesta: la tasa de mutación es tan elevada que el animal obtiene exactamente lo que «necesita». Pero la hipótesis no es más que eso, una hipótesis, y nadie descubre en las camadas de lagartos de cuatro patas esa multitud de monstruosidades entre las que se encontraría la que hace al reptil simultáneamente ápodo y perfectamente adaptado a un nuevo modo de locomoción y vida.

Esta exposición, si bien no entra en las estructuras en detalle, muestra que si en el origen de los Reptiles serpentiformes están las mutaciones aleatorias, han sido necesarias infinidad de ellas para encontrar precisamente la que se ajustaba a la estructura preexistente y permitía la continuación de la evolución.

Pero la explicación aleatoria choca con otros muchos obstáculos. La evolución serpentiforme se ha manifestado en muchos grupos independientes (que no sobrepasan el nivel de familia) que (excepción hecha de los Anfisbénidos y Ofidios) contienen a su vez géneros tetrápodos de cuerpo rechoncho, más o menos lacertiformes, géneros reducidos, géneros con miembros reducidos y géneros ápodos. Dicho de otra manera, se ha puesto de manifiesto la misma tendencia evolutiva a expensas de dotaciones génicas algo diferentes y con gran rapidez, ya que en tres grupos (Scíncidos, Cordílidos, Anguínidos) las especies originarias y las serpentiformes existen todavía.

La historia de estas tres *líneas* no es bien conocida; los Scíncidos

más antiguos aparecieron en el Plioceno superior, pero desconocemos cuál era su grado de desarrollo; los Cordílidos aparecieron al final del Jurásico y los Anguínidos en el Cretácico superior. Es posible que su origen sea anterior al de los terrenos que contenían los fósiles actualmente conocidos.

La evolución de los Saurios actuales resulta muy lenta, por no decir nula. Para la mayoría de los grupos con representantes fósiles se tiene la seguridad de que después del Mioceno sólo han sufrido variaciones muy débiles.

Tanto las especies tetrápodas como las ápodas parecen estar igualmente estabilizadas; los ápodos serpentiformes se han especializado tanto en su estructura que se han consagrado al inmovilismo. Son susceptibles, como todos los seres vivientes, de sufrir somatizaciones y mutaciones, pero no dejan de conservar su plan de estructura y su modo de vida.

A despecho de su configuración, el reptil serpentiforme se muestra capaz de vivir en medios muy diferentes (terrestre, acuático, subterráneo, arborícola); la apodia, compensada por la locomoción ondulante se presta a múltiples adaptaciones.

Los límites de la evolución

La evolución complica, simultáneamente, las estructuras y las funciones de los organismos, pero, al elevar su siquismo libera poco a poco al animal de la dependencia del medio exterior. Aquellos que ven en la pérdida de algunas funciones un proceso opuesto a la evolución progresiva se equivocan, pues toman en consideración tan sólo uno de los aspectos que revisten la historia de los animales, de entre el inmenso escenario en que se desarrolla.

¿Le ha faltado imaginación a la naturaleza en su esfuerzo creador? Quizá, pero antes de penetrar en los dominios de la ciencia ficción hay que pensárselo dos veces. Por ejemplo, ¿por qué la evolución no ha engendrado seres mitad animales, mitad vegetales?

Es fácil imaginarse un gusano llevando a la espalda un largo cordón constituido por células transparentes llenas de cloroplastos que fabricarían los azúcares, las proteínas, a partir de alimentos muy simples: agua, CO_2, nitratos, nitritos, oxígeno…

Un pez, si estuviera repleto de filamentos llenos de cloroplastos capaces de absorber los nitratos disueltos en las aguas superficiales

donde penetra la luz, no tendría necesidad alguna de tubo digestivo. Móvil y sensible, se alimentaría como un alga.

Pero este ser mixto, lógicamente concebible, ¿no reuniría en sí dos cualidades irreconciliables? Tenemos derecho a preguntárnoslo. La movilidad exige un consumo considerable de energía, que debe estar *disponible en todo momento*, y la fotosíntesis, para proporcionar los alimentos a un organismo (aunque sea poco voluminoso) debería realizarse sobre grandes superficies en las que incidiera la luz directamente; de aquí la extensión y el aplanamiento del talo de las algas y el número inmenso de hojas de las Fanerógamas. Semejante aparato clorofílico, por su masa, su volumen, haría difícil, si no imposible, un movimiento rápido y coordinado.

Además, la absorción de sales minerales, asociada a la fotosíntesis, sólo es concebible en la superficie de cuerpos bañados por un agua que contenga las sales necesarias disueltas. El vegetal ha podido hacerse terrestre desarrollando un sistema de absorción que busca el agua y las sales en la misma tierra, pero precisamente por esta causa se ha visto anclado al suelo e inmovilizado para siempre.

Por otra parte, los únicos seres que son a la vez móviles y fotosintetizadores (por disponer de cloroplastos) son microorganismos acuáticos: euglenas, Criptomonadales, *Peridinium*, cuyos cuerpos se componen de una sola célula (Protofitos) o, en algunos casos, de un pequeño número de ellas (Volvocales como *Pandorina, Volvox*).

La simbiosis entre los Cnidarios (Hydrarios, Actiniarios) y los *Peridinium* coloreados tiene tan sólo una importancia secundaria y marca de alguna manera el límite de lo que puede dar de sí la asociación fotosíntesis-movilidad. Estos Cnidarios son seres fijos o muy poco móviles.

Cuando los primeros seres acuáticos uni o pluricelulares perdieron sus cloroplastos, modificaron su metabolismo. ¿Fue esto una regresión? Podemos ponerlo en duda, ya que simultáneamente adquirieron potencialidades de número infinito y se liberaron del pesado lastre de la inmovilidad.

Cuando aparecieron los seres capaces de alimentarse a expensas de otros, la evolución no dio ningún paso atrás, sino que se

comprometió por una vía más fecunda en posibilidades evolutivas que la primera; su continuidad lo ha demostrado.

2. La evolución creadora o el nacimiento de los tipos de organización

Consideraciones generales

La formación de los fila o planes de organización fundamentales constituye la parte más importante, más esencial de la evolución. Cada filum aporta con esos planes grandes novedades, y a través de su plan arquitectónico, dirige el destino de las líneas secundarias que emanarán de él.

Dado que la paleontología no nos proporciona prácticamente ningún documento acerca de la génesis de los fila, recurrimos en nuestro intento de conocerla a los datos de la anatomía comparada y la embriología. Pero estas ciencias, aun a pesar de su valor, no nos permiten reconstruir el pasado con certeza; por consiguiente, la simulación de la evolución es tarea que, hoy por hoy, sobrepasa las posibilidades y capacidades del biólogo.

La embriología, en virtud de la ley biogenética fundamental de E. HAECKEL (1866)[15] da una idea de lo que *pudieron ser* los antepasados de los Invertebrados actuales, pero no debemos pedirle demasiado, ya que, en un gran número de casos, la ontogénesis se ve profundamente modificada por la cenogénesis y las adaptaciones a modos de vida muy particulares; pensamos en este momento en las larvas pelágicas o simplemente planctónicas, cuyos caracteres, pretendidamente arcaicos, tal vez no lo sean.

Si tenemos el propósito de estudiar la evolución, nos veremos en la obligación de descender un escalón en la escala sistemática y de concentrarnos en la génesis de las clases o los órdenes, para algunos de los cuales disponemos de fósiles bastante abundantes.

Antes de exponer nuestras ideas acerca de la marcha y el

mecanismo de la evolución, precisaremos algunos puntos concernientes a los planes de organización y distribución de caracteres en los diversos rangos de la jerarquía sistemática, yendo de los más generales a los más particulares.

El filum se define por su plan de organización y por la posesión de compuestos químicos determinados que reflejan particularidades metabólicas fundamentales.

La clase está marcada por la adición de caracteres al plan fundamental sin caer por ello en la especialización; ésta y el idiomorfo (tipo morfológico) no se manifiestan libremente hasta el nivel de los órdenes.

Resumiendo: al plan fundamental (filum) se añaden algunos caracteres (clase) de menor generalidad que los de la categoría superior; seguidamente aparecen los caracteres especiales, es decir, los del idiomorfo.

La jerarquía de rangos o conjuntos sistemáticos se presenta de diversas formas; nosotros nos referiremos a dos:

1.º El modelo clásico de categorías que se superponen como en un árbol genealógico; puesto que es cierto que el orden sistemático representa también el orden de aparición (figura 2).

2.º La representación por conjuntos comprehensivos, adoptando el término en su sentido lógico (fig. 3). El más comprehensivo es el filum, que engloba a todos los demás. Convencionalmente representamos éste por medio de un círculo dividido interiormente por medio de radios en tantos sectores como órdenes haya; la superficie de cada uno de éstos es proporcional al número de especies que contenga. Podrían hacerse subdivisiones hasta el nivel de especie. Este modo de representación disfruta de la ventaja de ofrecer, al primer golpe de vista, la importancia relativa de cada conjunto sistemático. En la figura 3 no se ha llegado más allá del orden.

Fig. 2. Diagrama que muestra la composición de un filum, unidad sistemática que corresponde a un gran modo (plan) de organización. ABC, caracteres propios del filum: *EF, GH, JN, DI*, caracteres propios de las clases; *be, hx, ik*, caracteres propios de los órdenes; *fa*, caracteres propios de una familia.

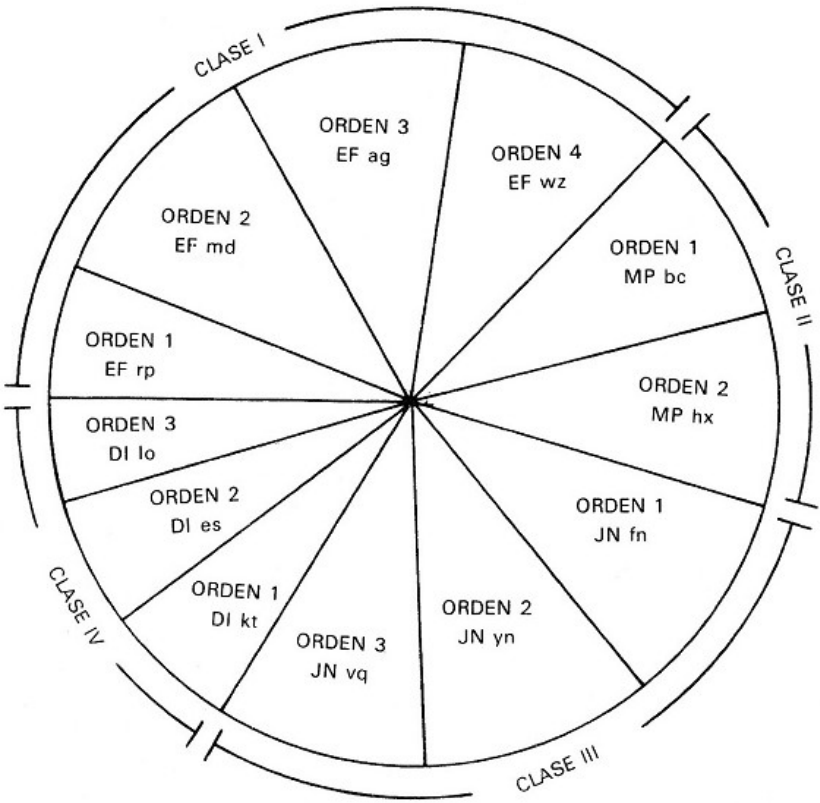


Fig. 3. Representación por áreas de la composición de un filum. En letras mayúsculas, los caracteres propios de las clases: en letras minúsculas, los de los órdenes.

El reino animal se compone de una veintena de fila: Protozoos, Espongiarios, Cnidarios, Ctenóforos, Platelmintos, Nematelmintos, Rotíferos, Anélidos (que engloban además a los Sipuncúlidos, Equiúridos y Priapúlidos), Endoproctos, Foronídeos, Briozoos, Braquiópodos, Quetognatos, Pogonóforos, Moluscos, Onicóforos, Tardígrados, Artrópodos, Equinodermos, Procordados, Vertebrados (ver apéndice). Algunos cuentan con millares de especies, otros con algunas decenas.

La génesis de los planes de organización fundamentales correspondientes a estos fila ha sido la gran obra de la evolución; pero es probable que la de las clases se haya producido a través de los mismos mecanismos.

Ya desde el principio del presente capítulo hemos llamado la atención del lector sobre la pobreza del registro paleontológico relativo al origen de los fila. Dado que se trata de animales muy antiguos, sus fósiles, con escasas excepciones, no han podido sobrevivir al metamorfismo de las rocas que los contenían.

Para poner esto de relieve expondremos sucintamente lo poco que sabemos acerca de las primeras páginas de la historia de los Artrópodos, el filum más rico en formas y especies.

A partir del Cámbrico inferior está representado por fósiles pertenecientes a grupos bien caracterizados: Trilobites, Merostomas (con *Paleomerus*, forma de dudosas afinidades del Cámbrico inferior encontrada en Suecia), Pseudocrustáceos y Crustáceos filocáridos (*Dioxycaris, Osoxys*). Sus precursores siguen siendo desconocidos; no obstante, un fósil de gran tamaño perteneciente a la fauna Precámbrica de Ediacara, *Parvancorina*, cuyo cuerpo está segmentado, ha sido interpretado por algunos paleontólogos (TERMIER y TERMIER, 1968), como la larva gigante de un artrópodo (posiblemente relacionada con la larva *Protaspis* de los Trilobitomorfos). Posiblemente sea tan sólo un «Preartrópodo» con caracteres muy arcaicos de anélido, suponiendo que los artrópodos provengan realmente de un tronco de anélidos, lo que no resulta inverosímil.

No sabemos nada acerca del origen de los Insectos. Sus fósiles más antiguos pertenecen a los Colémbolos (*Rhyniella*), descubiertos en los depósitos del Devónico medio (*Vieja Arenisca Roja*); muy emparentados con los *Podura* actuales. MASSOUD (1967) incorporó *Rhyniella* a la familia de los Neanuridae, que tiene representantes actuales y está ya muy evolucionada, lo que nos autoriza a decir que la génesis de los Colémbolos fue muy anterior al Devónico medio. MASSOUD concluye que «los Colémbolos han evolucionado poco» desde aquella lejana época (380 millones de años).

Nos encontramos con esta misma situación en el caso de los Quelicerados. Los primeros escorpiones (Protoscorpiónidos) datan del Silúrico superior (Siluroniense), y parecen haber sido marinos; estaban ya perfectamente caracterizados, aunque el primer segmento abdominal persistiera en el adulto y el preabdomen comprendiera 8 terguitos.

Como sugiere STÖRMER (1955), el mejor conocedor de los

Artrópodos paleozoicos, *Paleomerus hamiltohi* y sus análogos los *Aglaspis, sensu lato*, pertenecientes todos al Cámbrico, probablemente sean antecesores de los Merostomas. *Paleomerus*, de 9 cm
de largo, presentaba una cabeza bien individualizada, seguida de 11-12
segmentos que formaban el opistosoma, y de un telson. Se trata, evidentemente, de un artrópodo típico, fruto de una evolución ya larga de la que carecemos de eslabón alguno.

De hecho, la totalidad de los Artrópodos cámbricos pueden incluirse sin dificultad en las clases actuales, excepción hecha de los Trilobites, que se han extinguido por completo. Podemos suponer que los fósiles Precámbricos, en especial los de Ediacara, que han sido estudiados más en detalle, nos reservan agradables sorpresas, y que entre ellos se descubrirán algunos precursores de los Artrópodos. Tal vez *Parvancorina* sea uno de ellos.

Dada la ausencia casi total de fósiles pertenecientes a los troncos de los fila, toda explicación del mecanismo de la evolución, creadora de planes de organización, se ve inevitablemente lastrada de hipótesis. Esta constatación debería formar parte del encabezamiento de todo libro dedicado a la evolución. En ausencia de documentos concretos, no hay nada que podamos expresar sobre la génesis de los fila, que no sean suposiciones, opiniones de las que ni siquiera podemos evaluar el grado de verosimilitud.

Las clases, por lo que hoy en día sabemos (en particular sobre el nacimiento de los Mamíferos por transformación de los Reptiles), se forman por variaciones de desigual amplitud y, sobre todo, por la adquisición de atributos que se van añadiendo poco a poco al plan fundamental. No se constata ninguno de los espectaculares trastornos anatómicos que habían predicho algunos biólogos.

Las *mutaciones sistemáticas* que imaginó GOLDSHMIDT (1944) que transformarían de arriba a abajo los planes de organización y que serían responsables del origen de nuevos fila, no se manifiestan en ningún momento en toda la historia de los Anfibios, Reptiles y Mamíferos. No son más que un espejismo del espíritu. Las clases de los Mamíferos y de las Aves, las más recientes de todas, datan, la

primera del Triásico superior (hace unos 200 millones de años), y la segunda del Jurásico (unos 135 millones de años).

El nacimiento de un gran tipo de organización: Los Mamíferos

Si bien es cierto que no sabemos nada en absoluto acerca del origen de los tipos, disponemos, sin embargo, de fósiles que dan una idea bastante precisa de la formación de algunos grandes grupos de animales. Así, se conoce, *grosso modo*, la génesis de los Mamíferos, que proceden de los Reptiles [16].

En el transcurso de los últimos años, las ideas acerca de la historia y la composición de la clase Reptiles han cambiado mucho. La hipótesis de la dualidad de su composición desde el origen ha sido combatida con éxito y por medio de argumentos aparentemente sólidos. Pero en paleontología, el descubrimiento de un nuevo fósil cambia mucho la cara de las cosas y anula, en ocasiones, las interpretaciones que se creían definitivas.

De los Captorrinomorfos a los Pelicosaurios [17]

Al parecer todos los Reptiles, ya sean fósiles o actuales, proceden de un tronco común: los Captorrinomorfos, que poblaron las tierras emergidas del Hemisferio Norte durante el largo período que se extiende desde el Carbonífero medio al Pérmico medio. Su cráneo no tenía fosas temporales; su estribo macizo iba de la ventana oval al hueso cuadrado, que lo recibía en una foseta articular alargada. Su anatomía, en la medida en que es conocida, resulta arcaica y no especializada. Tenían el aspecto de lagartos macizos, de corta talla, con el húmero y el fémur dispuestos en un plano horizontal; se parecían en una serie de rasgos a sus antepasados Anfibios, los Estegocéfalos Laberintodontos. Entre los Captorrinomorfos se clasifica a los Diadectomorfos, en quienes WATSON (1954) veía el tronco de los Saurópsidos (varias líneas de Reptiles y Aves) que hoy nos preguntamos si no serían verdaderos Anfibios.

De los Captorrinomorfos nacen varias líneas cuyos parentescos y afinidades resultan difíciles de dilucidar. Nosotros limitaremos nuestro estudio a la de los Sinápsidos, caracterizada por la presencia de una única ventana temporal a cada lado del cráneo,

que se parece mucho a la de los Captorrinomorfos y que conserva una estructura arcaica.

En el origen de los Sinápsidos se sitúa el orden de los Pelicosaurios o Teromorfos que aparecieron en el Carbonífero superior, alcanzaron su apogeo en el Pérmico inferior, entrando en declive a partir del Pérmico medio y desaparecieron en el Trías inferior. Sus especies más antiguas y primitivas, próximas a los Captorhinomorfos han sido reunidas en el suborden de los Ofiacodontos, que comprende dos familias, *Ofiacodontidae* (los menos evolucionados cuyo largo hocico, junto con sus dientes prensiles, todos de la misma forma, han incitado a los paleontólogos a atribuirles un régimen alimenticio piscívoro) y *Eothyridae*(3), evidentemente carnívoros. Los otros dos subórdenes de Pelicosaurios, anatómicamente especializados, se componen de especies, bien carnívoras (que presentan una alta «cresta dorsal», una especie de vela dorsal extendida sobre las apófisis vertebrales espinosas) como los Esfenacodontos, o bien herbívoras, como los Edafosaurios (que poseen dientes palatinos numerosos y redondeados en su extremo, mandíbula provista de dientes idénticos entre sí e insertados en posición latero-interior frente a los palatinos, formando la totalidad una poderosa muela trituradora). Su tipo más extremo es *Cotylorhincus*, del Pérmico inferior.

Los Ofiacodontos y quizá también los Varanópsidos pertenecientes a los Esfenacodontos, parecen ser los únicos Pelicosaurios lo suficientemente poco especializados (sin vela dorsal) como para haber podido dar origen a los Terápsidos.

Los caracteres de Mamíferos, o premamífero, de los Pelicosaurios son poco numerosos, poco acentuados, pero reales. (*Ver más adelante*.)

Los Teriodontos, antepasados de los Mamíferos

A partir del Pérmico medio los Pelicosaurios ceden el puesto a los Terápsidos, que los suplantan y que, a su vez, desaparecen en el Trías superior, sobreviviendo en los Mamíferos, sus herederos naturales.

La historia del Orden [18] de los Terápsidos presenta un prodigioso interés: nos muestra cómo nace una clase, la de los

Mamíferos, rica en novedades. Los fósiles que la dan cuerpo son bastante numerosos y están a menudo bien conservados. Los Terápsidos se subdividen en tres subórdenes: Ptinosuquios, Teriodontos y Anomodontos [19].

Los más antiguos y menos evolucionados son los Ptinosuquios [20], que tenían el aspecto de un lagarto común, una cabeza larga y alta, un hocico estrecho, ojos situados muy hacia atrás y un orificio pineal. Su alta fosa temporal estaba inclinada hacia atrás. El cráneo se articulaba a la columna vertebral por medio de un único cóndilo. La órbita está separada de la fosa temporal, muy posterior, por una barrera estrecha, el arco temporal, formado por el hueso postorbitario y el yugal. Sus mandíbulas estaban provistas de robustos dientes que, por su forma, se diferenciaban en incisivos estrechos, caninos mucho más largos y numerosos caninos posteriores, altos y agudos. Es una dentadura de carnívoro de función prensil y laceradora.

Estos Ptinosuquios era de gran talla; el cráneo de *Phtinosuchus* medía
20 cm
de longitud. Tan sólo han sido encontrados ejemplares en el Pérmico superior de Rusia.

Con los Teriodontos, que parecen descender de los Ptinosuquios, se va concretando la transición hacia el tipo mamífero {fig. 6). Los numerosos géneros que los componen se distribuyen en tres grandes líneas: Gorgonopsios, Cynodontos y Terocéfalos. Los dos últimos han dado lugar a líneas secundarias.

Los Gorgonopsios, por su cráneo alto y largo, en el que existen dos huesos postfrontales, se parecen a los Ptinosuquios, sus presuntos antepasados. Sus fosas temporales, cortas y bajas, están separadas la una de la otra; recuerdan a las de los Pelicosaurios. En resumen, los primeros Gorgonopsios, que eran más pequeños que sus antepasados, los Pelicosaurios, no eran muy diferentes de ellos. Mientras conservaban los caracteres primitivos, los Gorgonopsios adquirieron además caracteres de mamífero, pero se vieron abocados a una excesiva especialización en la depredación. Sus desmesurados caninos (*Digorgodon*, por ejemplo) traen a la mente los de los *Machairodus* de los tiempos cuaternarios, mientras que los dientes situados detrás de los caninos se redujeron en número y

tamaño hasta el punto de perder toda eficacia en la masticación. Estos depredadores alcanzaban una gran talla (el cráneo de *Digorgodon* medía cerca de
37 cm);
sus huesos craneanos se volvieron muy gruesos y abultados.

Los Gorgonópsidos, aunque no figuren en la ascendencia directa de los mamíferos poseen, no obstante, innegables caracteres para hacerlo. El hueso dentario, muy crecido, bosqueja claramente una apófisis coronoide; la musculatura masticadora se inserta en parte en él; el cuadrado, reducido, no se inserta ya tan claramente con el escamoso, que ha disminuido a su vez de tamaño; su liberación, que le convertirá en el yunque, está ya en marcha. El estribo, que en los Pelicosaurios era un pilar macizo que iba desde la ventana oval al cuadrado y el paraoccipital, se aligera mucho y tiende a presentar una estructura de placa ampliamente taladrada por la ventana del estribo que está atravesada por la arteria del mismo nombre. Los miembros, bastante delgados, serían más rectos que los de los Captorhinomorfos y Ptinosuquios. Los Gorgonopsios tuvieron una existencia breve. A partir de finales del Pérmico desaparecieron por causas desconocidas, probablemente ligadas a su grado de especialización.

Los Teriodontos (a excepción de los Gorgonopsios), forman un grupo complejo cuyas especies poseen en mayor o menor grado los caracteres de los mamíferos. Los paleontólogos los dividen en cinco órdenes: Cinodontos, Tritylodontos, Terocéfalos, Bauriamorfos e Ictidosaurios, cuya individualidad está bastante clara, pero cuyo parentesco resulta difícil de establecer.

Los paleontólogos están de acuerdo en admitir la existencia de una corriente evolutiva que iría de los Cinodontos primitivos del Pérmico superior a los Tritylodontos y a los Haramyidos. El interesante infraorden de los Ictidosaurios está vinculado a los Cinodontos, según unos (HOPSON y CROMPTON, 1969) y según otros a los Terocéfalos-Bauriamorfos (GINSBURG, 1970).

Todos los paleontólogos coinciden en que la adquisición de caracteres de mamífero (ver en particular CROMPTON, 1969), no ha sido privilegio de un orden en especial, sino de todos los órdenes que componen el grupo de los Teriodontos, aunque, eso sí, en grados ciertamente diferentes. «This progressive evolution towards

mammals has been most clearly noted in three groups of carnivorous Therapsids: The Therocephalia, Bauriamorpha and Cynodontia, each of which, at one time or another has been considered ancestral to some or all mammals [21] ».

El modelado de la «forma mamífero», que ha durado de cincuenta a sesenta millones de años, se ha producido sin grandes sobresaltos, de modo insensible.

Las tendencias evolutivas que se manifiestan en todas las líneas de Teriodontos son las siguientes: en la mandíbula, el hueso dentario se extiende hacia atrás, su borde superoposterior desarrolla un saliente plano que en los Mamíferos se denomina apófisis coronoide, mientras que de su borde inferior se desarrolla hacia atrás una prolongación horizontal. Los huesos postdentarios (angular, articular, prearticular, supraangular) sufren una extraordinaria reducción.

Un carácter que no es patrimonio exclusivo de los Mamíferos, la homeotermia, parece haber existido en gran número de Terápsidos, si no en todos. Sus huesos son fibrolaminares, están densamente vascularizados y se parecen notablemente a los huesos haversianos de los Mamíferos y las Aves. Esta estructura está vinculada a un crecimiento continuo que se hace posible gracias a la constancia de la temperatura corporal, la cual ha quedado establecida en los Teriodontos. Su evolución ha sido lenta y progresiva. Se supone que la homeotermia de las especies más evolucionadas se asemejaba a la homeotermia imperfecta de los Monotremas de nuestros días.

En los Reptiles de temperatura variable (poiquilotermos), el hueso presenta un crecimiento discontinuo. Éste tiene por resultado una estructura laminar por zonas, y éstas crecen en capas más o menos concéntricas, que parecen responder a los ritmos estacionales (A. DE RICOLES, 1972, a y b).

Mucho antes de alcanzar el estado de premamíferos, los Teriodontos dejaron de ser animales de sangre fría; dependían menos estrechamente del medio y temían menos las grandes diferencias en la temperatura exterior. Es posible, aunque no alcanzamos a comprender bien las razones para ello, que la homeotermia haya sido una condición previa a la «mamalización» de los Teriodontos. A. DE RICQLÈS ha descrito las consecuencias que la homeotermia tuvo en la fisiología y el comportamiento del

animal: elevación del ritmo metabólico general, y un metabolismo fosfocálcico intenso, crecimiento más rápido y continuo y mayor actividad.

La línea de los Cinodontos

Los Cinodontos más antiguos (Pérmico superior) presentan caracteres que les acercan a los Bauriamorfos Scaloposaurios, pero están más «mamalizados»: el cóndilo occipital está bien dividido, el epipterigoides está extendido en relación con el hueso proótico, presentan una mandíbula en la que el hueso angular no se compone más que de una lámina reducida. Los Cinodontos poseen en exclusiva un proótico con un reborde delantero saliente. El paladar secundario está completo, los dientes yugales, aunque pequeños y numerosos, son multituberculados. Estos dos caracteres aparecen en los Bauriamorfos Scaloposaurios evolucionados. Al igual que en éstos, la oclusión de los dientes yugales superiores e inferiores es incompleta. Los Cinodontos ya no poseen los espacios palatosuborbitales que representan un carácter arcaico conservado por algunos Procynosuquidos (familia de Cinodontos pérmicos) y perdido por los Cinodontos del Triásico.

El relieve de la cara oclusal de algunos dientes yugales, comprendida la cúspide *g* (Kühnecono) de este mismo *Thrinaxodon*, se parece al de los *Diarthrognathus* (=*Eozostrodon*?). Según CROMPTON y JENKINS (1968) este parecido da fe de la derivación de *Diarthrognathus* y otros géneros cercanos de los Cinodontos del tipo *Thrinaxodon*.

Los Cinodontos Thrinaxodóntidos no son menos ricos en caracteres reptilianos, tales como la sustitución alternativa de los dientes, la imperfección de la oclusión entre los dientes yugales superiores e inferiores, la presencia de costillas con expansiones fusionadas a las vértebras lumbares.

No debemos olvidar que los Cinodontos no Thrinaxodóntidos son, anatómicamente, demasiado especializados, ya sea en el sentido carnívoro (*Cynognathus*, por ej.) o en el sentido herbívoro (*Diademodon*, por ej.) como para poder pertenecer a la ascendencia directa de cualquier grupo de Mamíferos; ésta es al menos la opinión de HOPSON y CROMPTON que, por nuestra parte, estimamos

fundada. Estos Cinodontos han experimentado sin embargo una tendencia a la «mamalización»; la historia de los Traversodóntidos da cumplida muestra de ello. Estos Cinodontos herbívoros vivían en el Triásico medio en África Austral y en América del Sur. Los más antiguos, como *Scalenodon*, tenían dos dientes yugales que se parecían a los de *Diademodon*, lo que podría representar una posible filiación. En los Traversodóntidos, estos dientes se modifican llegando a ser aptos para cortar y triturar; al mismo tiempo la mandíbula, gracias a una mayor amplitud de la articulación, podía ejecutar movimientos transversales y de delante hacia atrás; los caninos se reducían, mientras que algunos incisivos se alargaban adoptando una posición muy oblicua.

Los paleontólogos admiten que en el Triásico superior, los Tritilodontos suceden a los Cinodontos traversodóntidos hasta el Jurásico medio.

Los reptiles premamíferos derivados de los Cinodontos

Los Tritylodontos [22], aunque especializados, tienen evidentes afinidades con los Mamíferos. Su órbita, que no está cerrada por detrás por una barra postorbitaria, comunica con la fosa temporal. Los huesos prefrontal, postfrontal y postorbital han desaparecido, como en los Cinodontos. La base del cráneo se parece a la de estos últimos. No existe orificio pineal en la bóveda craneana. Los dientes están diferenciados en incisivos, entre los cuales el segundo tiene un aspecto caniniforme (seis en cada mandíbula), y dientes yugales, parecidos a los multituberculados de los mamíferos, que aparecen en el Purbeckiense (Jurásico superior), y se extinguen en el Eoceno. Los caninos están separados de los yugales por un largo diastema, sobre el que van colocados en filas longitudinales, con la cúspide en forma de media luna, tres arriba y dos abajo. Los dientes, igual que en los Mamíferos, se insertan por medio de raíces alojadas en profundos alveolos; los yugales superiores tienen dos raíces anteriores y tres posteriores; los inferiores tienen tan sólo dos, una delante y otra detrás.

La mandíbula presenta un interés considerable. El hueso dentario la configura casi por completo; en su perfil es equivalente a la de los Mamíferos, con una rama dirigida hacia arriba que se continúa en una apófisis coronoide aparentemente bien desarrollada

(la rama ascendente está incompleta en los especímenes de los que disponen los paleontólogos). El hueso cuadrado, que es pequeño (4 mm de altura), se fija holgadamente a la pared craneana por medio de ligamentos; su suspensión pertenece al tipo estreptostílico. Por lo tanto, la articulación de la mandíbula con el cráneo tenía aún lugar por medio del cuadrado y el articular y carecía de firmeza; no podía soportar más que parcialmente la tracción de los músculos masticadores, que se insertaban sobre el dentario a nivel de los dientes, evitando que tuviese que soportar todos sus esfuerzos.

El escamoso es un hueso bastante frágil sobre el cual se moldea en parte el conducto auditivo externo; está enclavado en una cavidad glenoidea no funcional, ya que ningún hueso de la mandíbula se apoya en ella; he aquí lo que escribe DEVILLERS (1961, pág. 204) refiriéndose a esto: «El emplazamiento de la presunta cavidad es visible, aunque la articulación del dentario no esté aún establecida». Tendremos ocasión de volver sobre este hecho tan extraño.

Los Tritylodontos son premamíferos por otros muchos caracteres: poseen un paladar óseo que se extiende hacia atrás, casi hasta el final de los arcos dentarios; una articulación cráneo-mandibular que se sitúa muy por encima de los dientes yugales, dos cóndilos occipitales… Los potentes arcos zigomáticos, las crestas sagital y lamboide que levantan la superficie del cráneo, la ancha fosa temporal que comunica con la órbita, son todos caracteres de mamífero. El prefrontal, el postfrontal y el postorbitario han desaparecido.

Sin embargo, los Tritylodontos son Reptiles por multitud de rasgos anatómicos. En el cráneo, el hueso paraesfenoides está bien desarrollado, mientras que en los Mamíferos desaparece (deja vestigios en algunos), la ventana postemporal persiste. La cavidad craneana es pequeña, mucho más pobre, relativamente, que en los Mamíferos, incluso en el caso de los Mamíferos cerebralmente menos dotados (Monotremas, Marsupiales).

La columna vertebral no se subdivide en regiones diferentes, todas las vértebras presacras llevan costillas. Los miembros se mantienen aún en posición transversal; sin embargo, el cúbito (*ulna*) muestra una forma que parece permitir una cierta rotación del radio alrededor suyo, anunciando la pronación y la supinación

que la mayor parte de los mamíferos llegarían a adoptar.

Las cinturas (por otra parte, conocidas de modo incompleto) son más de Reptil que de Mamífero. En la escapular, el coracoides y la escápula forman la cavidad glenoidea; el reducido precoracoides se suelda a la escápula. La estructura de la pelviana, a pesar de lo dicho por KÜHNE (1956) y DEVILLERS (1961), no es claramente de mamífero.

Tomándolo todo en consideración, los géneros *Tritylodon, Bienotherium* y *Oligokyphus*, aunque se aproximen mucho a los Mamíferos, no dejan de pertenecer a la clase Reptiles. Cuando se trata de asignarles un lugar sistemático preciso se impone la prudencia, tanto más cuanto que no sabemos si esos animales poseían un revestimiento escamoso o piloso, si su temperatura era constante o se equilibraba con la del medio exterior.

Para apreciar con exactitud el valor «evolutivo» de los Tritylodontos no debemos olvidar que se trataba de animales que probablemente seguían un modo de vida muy particular y se alimentaban de vegetales que exigían una fuerte trituración o un raimiento que sus dientes parecen haber sido capaces de llevar a cabo. No se sabe qué significación atribuir a la inclinación de sus incisivos, que no forman el bisel característico de los roedores: los incisivos de *Bienotherium* y de *Oligokyphus* recuerdan algo a los de los Insectívoros sorícidos que, a modo de una pinza, cogen pequeñas presas vivas; pero esto no es más que una tosca aproximación. Sólo puede decirse que con una anatomía dentaria tan particular, los Tritylodontos tenían probablemente costumbres especializadas.

En resumen, constituían una rama de los Teriodontos que, aunque sin descendencia, quizá por el hecho de una excesiva especialización, se ha aproximado mucho a la forma Mamífero **[23]**.

Hay otra línea de Cinodontos que ofrece al evolucionista datos del más alto interés. Queremos hablar de la familia sudamericana de los Chiquinodóntidos, magistralmente estudiados por ROMER en 1970. Vivían en el Trías medio y presentaban la particularidad de poseer una articulación escamoso-dentaria naciente verificada en *Probainognathus jenseni*.

El hueso dentario, con un ángulo inferioposterior bien marcado, lleva una apófisis coronoide cuyo borde posterior envía hacia atrás

una prolongación en lámina triangular que se aplica sobre la cara externa del suprangular, terminándose casi en el extremo distal de este hueso. Este «espolón» del dentario entra prácticamente en contacto con el escamoso, así como con el extremo distal del supraangular. Presenta, frente a este espolón, una depresión que parece ser el esbozo de una fosa glenoidea. Así se alcanza el estadio que precede de cerca, muy de cerca, a la articulación dentario-escamosa que caracteriza al grado más elevado de la estructura de mamífero.

ROMER ha hecho notar que los Cinodontos Chiquinodóntidos (*Chiquinodon*(e5)*, Belesodon, Probelesodon, Probainognathus*), todos del Triásico medio, tienen una estructura no especializada y, por tanto, son libres de evolucionar en diferentes direcciones. Proceden, quizá, de los Galesaúridos (*Thrinaxodon*) y se aproximan a los Mamíferos por su paladar secundario perfectamente desarrollado con una articulación dentario-escamosa casi consumada; pero su dentario no posee todavía un cóndilo articular, su espolón sigue siendo plano y termina en punta; su cuadrado es notablemente débil.

Los signos precursores de una articulación dentario-escamosa se han encontrado en *Trirhachodon* y *Massetognathus* (dos Traversodóntidos), en los que se eleva una joroba diferenciada en el borde ventral del escamoso, en la región de la articulación de la mandíbula. CROMPTON (1963) y ROMER (1970) estiman que este saliente refuerza la articulación articulo-cuadrática que, dado el pequeño tamaño del hueso articular, carece de solidez.

De hecho, y se verá más claramente en los Ictidosaurios, el corte sistemático Reptiles-Mamíferos, fundado en el modo de articulación de la mandíbula, que constituía anatómicamente el criterio fundamental, desaparece en presencia de las formas intermedias que ha puesto al descubierto la paleontología. Por otra parte, los mamíferos Triásicos, Jurásicos e incluso Cretácicos llevan en su mandíbula el recuerdo de su origen reptiliano.

En todo caso, ROMER, tomando en consideración sus caracteres de Mamífero y su estructura de tipo general, ve en los Chiquindóntidos a los Teriodontos que más condiciones reúnen para ser los antepasados directos de los Mamíferos.

Los Terocéfalos-Bauriamorfos

La segunda gran línea de los Teriodontos se inicia en los Terocéfalos, que, probablemente, procedan de un Gorgonópsido arcaico o incluso de un Ptinosuquio; en breve dieron lugar al tipo Terocéfalo que progresivamente se fue convirtiendo en el tipo Bauriamorfo.

Son anatómicamente arcaicos; su cráneo macizo, con su hocico largo y aplanado, presenta dos fosas temporales muy próximas la una de la otra, lo que los diferencia de los Gorgonópsidos. Su epipterigoides está bien desarrollado. La tendencia a la reducción del número de huesos es manifiesta pero discreta; falta el parietal, lo mismo que a menudo el postfrontal. Falta el paladar secundario, pero en algunos (*Whaitsia*, por ejemplo), el techo de la cavidad bucal cóncava prepara en cierta manera el cierre por un paladar secundario[24]. La fórmula falángica es de mamífero: 2,3,3,3,3, y no de reptil. El cuadrado y el cuadratoyugal son de pequeño tamaño. Los Terocéfalos no han escapado a la especialización y han exagerado sus caracteres de carnívoros depredadores: incisivos y caninos muy grandes, dientes yugales cortantes que desaparecen en la familia de los Whaitsíidos; algunos de ellos alcanzaban un tamaño bastante grande (cráneo de unos
30 cm
de largo).

Como los Gorgonópsidos, los Terocéfalos se extinguen a finales del Pérmico. En realidad, pasan tan insensiblemente a los Bauriamorfos que algunos paleontólogos mantienen los dos grupos en una misma unidad sistemática.

Los Bauriamorfos parecen haber tenido como antepasados a los Pristerognátidos, clasificados en la base de los Terocéfalos. Se admite, actualmente, que formaron dos líneas principales: una que comprende a los Ictidosúquidos y Baúridos, la otra a los Scaloposaurios y Ericiolacertidos.

Los Ictidosúquidos están compuestos por formas arcaicas, próximas a los Terocéfalos, sin paladar secundario; el género *Ictidosuchops*(4), el mejor conocido, vivió desde el Pérmico superior al comienzo del Triásico de África del Sur (=Tatariense superior). Los Bauriidos marcan una evolución muy clara con relación a la

familia precedente; tienen un paladar secundario, pero los palatinos no participan en su formación; su cóndilo occipital está en vías de desdoblamiento, el orificio pineal ha desaparecido. La bóveda craneana está coronada de una cresta sagital medianamente alta. La barra postorbitaria está interrumpida.

Los dientes postcaninos (= dientes yugales) son interesantes por su cara oclusal, de donde salen pequeñas cúspides. La mandíbula es de estructura reptiliana; los huesos postdentarios tienen un fuerte desarrollo, sobre todo el articular, pero el dentario predomina a pesar de todo.

En resumen, sus caracteres de mamífero son la estrechez de su macizo facial por delante de los arcos zigomáticos salientes, la posición muy adelantada de los orificios nasales (carácter poco importante), el gran tamaño del dentario, el relieve de los dientes yugales y el paladar secundario.

La segunda línea comprende la familia de los Scaloposáuridos, reptiles de tamaño medio (cabeza de
8-9
centímetros de largo) que vivían en el Permotrías y en el Triásico inferior. Los caracteres de mamífero están menos marcados que en los Bauriidos. El paladar secundario está sólo esbozado por los dos maxilares que entran en contacto. La barra postorbitaria está incompleta (carácter poco importante). Los parietales están ampliamente desarrollados. El orificio pineal ha desaparecido, así como el hueso postfrontal. El angular es de pequeño tamaño. La región óptica se parece un poco a la de los Mamíferos.

Próxima a los Scaloposáuridos se encuentra una familia que, por ahora, no cuenta más que con el género *Ericiolacerta* del Trías inferior (zona de *Lystrosaurus*), bien conocido gracias a los trabajos que WATSON le ha consagrado (1931). Este reptil, de pequeño tamaño (cráneo de
4,5
centímetros de largo), muestra caracteres que atestiguan una clara evolución por una vía especializada. Su paladar secundario está completo, los palatinos contribuyen a formarlo; falta el orificio pineal; tiene un solo cóndilo occipital, la base del cráneo pertenece al grupo «bauriamorfo»; la columna vertebral presacra no se diferencia en las regiones dorsal y lumbar.

Los miembros largos y delgados parecen aptos para la carrera. El pie es notable por su calcáneo, que se prolonga hacia atrás en un fuerte tubérculo calcáneo, estructura que caracteriza el pie del mamífero. Es posible que *Ericiolacerta* haya sido un digitígrado. Su cintura escapular es de reptil, con un cleitro, vestigial sin embargo.

No obstante, los últimos Bauriamorfos tienen más rasgos arcaicos que los Cinodontos, sus contemporáneos; por ejemplo, su mandíbula es de tipo Gorgonópsido o Terocéfalo, en la que la masa de los músculos aductores externos de la mandíbula no está diferenciada en músculos masetero y temporal de mamífero, como lo está en los Cinodontos (BARGHUSEN, 1968).

Los Ictidosaurios, otros reptiles premamíferos

De los Bauriamorfos ha salido una fórmula interesante: *Diarthrognathus broomi*, que constituye por sí sola el infraorden de los Ictidosaurios. Se ha encontrado un cráneo incompleto en el Trías superior de África del Sur[25]. La gran novedad (de importancia) que aporta este Teriodonto consiste en la doble articulación de la mandíbula con el cráneo.

El hueso articular, como en todos los reptiles, se articula con el cuadrado (que lo recibe en una depresión en canal) y éste con el escamoso, sin que haya una reducción más marcada de los huesos postdentarios; el dentario, por un largo proceso visible ya en los Cinodontos, se articula también con el cráneo en una depresión del escamoso, el canal glenoideo.

La mandíbula se encuentra por lo tanto afianzada al cráneo a través de dos articulaciones, una de Reptil y otra de Mamífero. La coexistencia de dos caracteres, el uno (el nuevo) «destinado» a reemplazar al otro (el arcaico), es un fenómeno lo suficientemente raro como para merecer particular mención. Es importante señalar la total independencia de la articulación de Mamífero con respecto a la de Reptil. Toda esta evolución no tiene nada que ver con las mutaciones.

El cráneo, que queda bajo y es delgado por delante y ancho por detrás, ha sido objeto (en las partes que se poseen) de un estudio profundo que revela una mezcla de caracteres de Mamífero y Reptil.

Los principales caracteres de Mamífero son: la pared mesial de la

órbita formada por el frontal y el palatino, la desaparición del prefrontal y el postorbitario, la reducción de la rama transversa del pterigoides, la predominancia del dentario sobre los demás huesos de la mandíbula, la articulación del dentario-escamoso y los dos cóndilos occipitales.

Como falta la parte anterior del cráneo, no se sabe si *Diarthrognathus* poseía o no un paladar secundario.

La evolución de la musculatura masticadora

Esta musculatura, estudiada muy particularmente por BARGHUSEN (1968), presenta un interés excepcional porque evoluciona con el esqueleto mandibular; el estado funcional de la mandíbula es el resultado inmediato.

Los Teriodontos, al contrario que los Cinodontos, poseían una masa muscular aductora indivisa que tenía su inserción principal, por una parte, sobre la cresta sagital y la fascia que cubre la fosa temporal (pero no sobre el arco zigomático, con la posible excepción de la porción posterior), y, por otra parte, sobre el borde dorsal y las superficies internas de la apófisis coronoide y del hueso suprangular. En estos Teriodontos, la apófisis en cuestión estaba próxima al arco zigomático, hasta el punto de que la musculatura no pasaba bajo ésta para insertarse sobre la superficie lateroexterior del dentario.

Esta evolución fue lenta y progresiva. Así, en los Cinodontos del Pérmico, el arco zigomático se muestra mucho más abombado que el de los Bauriamorfos contemporáneos; deja un ancho vacío entre él y la apófisis coronoide, que en su mitad superior externa está excavada para la inserción de un músculo. Es la primera indicación, entre los Reptiles Teriodontos de la presencia de un músculo que recuerda al masetero y que se inserte, por un lado, sobre el arco zigomático, y, por el otro, sobre la cara latero-exterior del dentario.

En el Cinodonto mejor conocido del Trías inferior, *Thrinaxodon* (un Galesáurido), la fosa masetérica ha aumentado mucho de tamaño, extendiéndose hasta el borde inferior del dentario; a partir de aquí, el masetero está tan desarrollado como en los Mamíferos. De acuerdo con esta extensión del músculo, el hueco dentario se alarga hacia atrás mucho más que en los Procynosúquidos y adquiere una apófisis coronaria más fuerte, así como una desviación

angular más marcada.

En los Tritylodontos, el extremo inferior del masetero se une completamente al dentario, donde su inserción excava una cavidad bien marcada. Así, a lo largo de la historia de los Terápsidos, antepasados de los Mamíferos, la evolución de las partes óseas de la mandíbula y de los elementos motores, los músculos, ha estado estrechamente coordinada. Ha ocurrido lo mismo con la inervación. La transformación de la mandíbula de Reptil en mandíbula de Mamífero sólo fue posible gracias a una triple coordinación que afectó simultáneamente a hueso, músculo y nervio. Esto es la evolución, y no un mosaico de variaciones aleatorias que afectan a cualquier cosa en cualquier momento.

Recapitulación de los atributos de mamífero en los Terápsidos y sus antepasados los Pelicosaurios

Con el fin de facilitar la lectura de las páginas que siguen, recapitulamos a continuación los principales rasgos de Mamífero de los Reptiles Pelicosaurios y Terápsidos.

ORDEN DE LOS PELICOSAURIOS (del Carbonífero superior al Trías inferior): regresión del supratemporal; migración de las fosas nasales hacia el extremo del hocico; estribo adelgazado y bífido que se articula con el cuadrado, el cual se encuentra contiguo al tímpano. Están considerados como antepasados de los Terápsidos que, poco a poco, los reemplazaron.

ORDEN DE LOS TERÁPSIDOS: aparición progresiva de estructuras de mamífero: paladar secundario, estribos en junquillo, formación de un potente arco zigomático (yugal y escamoso), etc.

Suborden de los Phthinosuquios(5) (principios del Pérmico superior de Rusia): maxilar muy desarrollado, húmero largo, estribo en junquillo reducido.

Suborden de los Teriodontos: predominancia del dentario, reducción del hueso postdentario y del cuadrado, tendencia a la heterodoncia (incisivos, caninos, dientes yugales).

Infraorden de los Gorgonópsidos (Pérmico superior, África, Australia y Rusia): reducción numérica de los dientes yugales, prolongación posterior de los premaxilares cortos, vomerianos fusionados, miembros delgados y erectos.

Infraorden de los Cinodontos (del Pérmico superior terminal al Trías medio, quizá superior; África austral, Rusia, China, América del Sur): paladar secundario completo formado por las apófisis de los maxilares y de los palatinos; prolongación posterior de los premaxilares corta; dos cóndilos occipitales, pero pequeños y muy próximos; sin postfrontales; foramen pineal pequeño; epipterigoides asociados a la pared del neurocráneo; un alisfenoides en lugar de un pleuroesfenoides; rama ascendente del dentario esbozada; apófisis coronoide fuerte; inicio de la diferenciación de las costillas en dorsales y lumbares. Los miembros se movían ventralmente.

Infraorden de los Tritylodontos (Trías superior; África del Sur, Europa, Asia, América del Norte): ausencia del prefrontal, del postfrontal y del postorbitario; dientes yugales con dos o tres raíces; dos cóndilos occipitales; conducto auditivo interno; vértebras platicélicas.

Infraorden de los Terocéfalos (Pérmico superior, África austral, Rusia): fórmula falangiana: 2,3,3,3,3; postfrontal ausente en *Euchambersia*.

Infraorden de los Bauriamorfos (del Pérmico superior al Trías inferior, África austral): reducción o pérdida de la barra postorbital; paladar secundario (en las especies evolucionadas); cóndilo occipital en vía de desdoblamiento, impar en algunos (*Ericiolacerta*).

Infraorden de los Ictidosaurios (Infralías de África austral): articulación mandibular doble; prefrontal y postorbitario ausentes, reducción de la rama transversa del pterigoides; inversión de las superficies articulares de los huesos posteriores de la mandíbula; frontal y palatino contribuyendo a formar la separación orbitaria mesial.

La paleontología muestra que la seriación de los caracteres de un grupo sigue la cronología. Así, en los Teriodontos se encuentran caracteres del tronco vertebrados (dejamos a un lado aquellos caracteres más antiguos que fueron adquiridos cuando el estadio Vertebrado no había sido aún alcanzado), los de la clase (Reptiles), del orden (Terápsidos) y, por fin, del infraorden (caracteres terminales de la línea). Crearemos una categoría aparte para los caracteres erráticos de Mamífero presentes en las diversas líneas, familias, etcétera, de Teriodontos.

Como es una ontogénesis, los caracteres más generales son los primeros en aparecer (caracteres del tronco: plan de organización), luego vienen aquéllos en que se manifiestan los comienzos de la especialización y, por fin, los caracteres de la familia, del género y, naturalmente, de la especie. La figura 4 nos muestra las relaciones teóricas de las principales ramas de Teriodontos.

En los infraórdenes de los Tritylodontos y de los Ictiosaurios es donde se encuentran reunidos el mayor número de caracteres de mamífero.

Los Anomodontos, que parecen proceder de los Phthinosuquios, forman (del Pérmico medio al Trías inferior) un conjunto complejo de Reptiles vegetarianos que no han evolucionado en el sentido de los Mamíferos. No los tendremos aquí en consideración.

KÜHNE (1956) ha reunido diez caracteres de mamífero mostrados por Terápsidos del Trías medio y superior (excluyendo los Anomodontos), a saber: 1, olécranon; 2, túber calcis; 3, epipterigoides en placa; 4, paladar secundario; 5, doble cóndilo occipital; 6, cierre del orificio pineal; 7, pérdida de la barra postorbitaria; 8, cierre del foramen ectocondilar; 9, acromion libre; 10, fórmula falangial: 2,3,3,3,3.

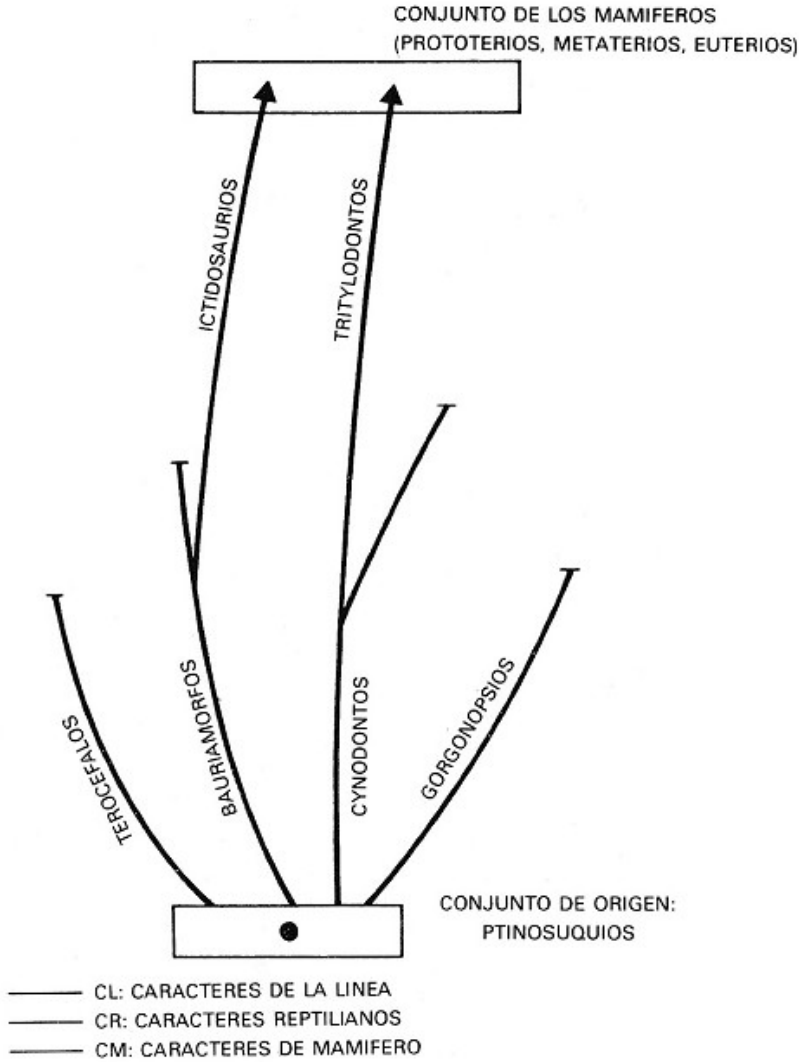


Fig. 4. Diagrama de la repartición de los caracteres reptilianos, de mamífero, y propios de la línea en las diferentes ramas de Teriodontos.

Nosotros añadiremos además la extensión del dentario, la reducción de los huesos postdentarios, del cuadrado y del escamoso.

Pero en ningún Teriodonto se reúnen todos esos caracteres; *Diademodon*, el mejor conocido de los Cinodontos, sólo reúne cinco, y *Cynognathus*, cuatro. Los Tritylodontos añaden a los

caracteres enumerados dientes yugales con
dos-tres
raíces, conducto auditivo interno, pérdida del prefrontal y del postorbitario, vértebras platicélicas, costillas que se articulan con las vértebras como en los Mamíferos Euterios, una apófisis odontoide (axis), costillas cervicales fusionadas con las vértebras, un íleon preacetabular y una escotadura cotiloide.

Condensando los datos de la paleontología e integrándolos con los de la anatomía comparada, se llega a reconstruir la lenta evolución del cráneo de los Mamíferos. Se inicia hacia el final del Carbonífero con la aparición de los Pelicosaurios y se acaba en el Retiense (Jurásico inferior), durando aproximadamente 100 millones de años. Pone en juego varios fenómenos que están en estrecha correlación. He aquí los principales:

1. Los huesos craneanos disminuyen en número, ya sea desapareciendo, ya sea fusionándose entre sí. Han desaparecido el septo maxilar, el hueso prefrontal, el postfrontal, el postorbitario, el supratemporal y el cuadratoyugal. El paraesfenoides desaparece o deja un vestigio en algunas especies. Los postparietales y el tabular se sueldan al occipital; el epipterigoides se fusiona con la pared del cráneo.

2. Las dimensiones relativas de los diversos huesos cambian; por ejemplo, en los Mamíferos, el maxilar superior adquiere una gran extensión a expensas del lacrimal (de una subclase a otra de Mamíferos cambian las proporciones).

3. Las relaciones topográficas entre los huesos se modifican por los cambios de tamaño, las desapariciones y las fusiones.

4. Los huesos parietales y frontales tienden, en los Mamíferos, a formar la mayor parte de la bóveda craneana; se extienden entre el músculo temporal y el cerebro, cerrando así completamente el neurocráneo. El cóndilo occipital se desdobla. La cavidad bucal se tabica en sentido transversal por un paladar secundario **[26]**; los dientes se diferencian en tres categorías que son, de delante a atrás, incisivos, caninos y postcaninos, que, de ser simplemente cónicos o espinosos, pasan a ensancharse, añadiéndose entonces a su punta cónica otros accesorios o cúspides dispuestos en filas; así, los laceradores**(e6)** pasan a ser masticadores. Los dientes superiores se localizan sobre lo huesos premaxilares y maxilares, los inferiores

sobre los dentarios.

5. En todos los fila la evolución de la mandíbula manifiesta las *mismas* tendencias. Se caracteriza por la reducción de los huesos postdentarios, un aumento considerable del dentario, un desplazamiento de las inserciones musculares y de los nervios, la simultaneidad de estos cambios y su estrecha correlación. En cuanto a la columna vertebral, ésta ha cambiado mucho. Se divide en dos regiones: la dorsal, con largas costillas, y la lumbar, que tiene costillas curvas soldadas a las vértebras.

Los caracteres de los «reptiles mamíferos» y de los primeros Mamíferos. El paso insensible de una clase a otra

Cuando se alcanzan los estadios *Diarthrognatus* y *Oligokyphus*, se dibuja el estado de mamífero, pero sigue estando lejos de su punto de perfección.

Examinemos todo lo que separa la estructura del cráneo de los Teriodontos más evolucionados del de los Mamíferos, que se caracteriza por el gran volumen de su caja craneana, una mandíbula constituida sólo por el dentario, por la incorporación de algunos huesos postdentarios a la cadena de huesecillos del oído medio, por una reducción del desarrollo postoccipital y por otras diferencias de menor importancia, a saber:

1. Desplazamiento hacia atrás de los conductos nasofaríngeos.

2. Reducción del pterigoides y su separación sobre la línea media.

3. Reducción de los ectopterigoides que se desplazan más hacia atrás y que están incluidos en la pared del conducto nasofaríngeo.

4. Acortamiento de la parte ventral del cráneo en la región órbitotemporal, con las prolongaciones palatinas y basipterigoides acortadas.

5. Pérdida del paraesfenoides y la presencia de los preesfenoides y basiesfenoides en una vista ventral del cráneo.

6. Desplazamiento frecuente, hacia adelante, de la raíz anterior del arco zigomático.

7. Gran reducción del escamoso.

Detengamos aquí la enumeración, aunque se podría prolongar.

Muestra que existe todavía un espacio entre los Reptiles más «mamíferos» y los verdaderos Mamíferos.

Hace poco era fácil separar Reptiles y Mamíferos; era suficiente referirse a la articulación mandíbulocraneana, que es artículo-cuadrática en los primeros y dentario-escamosa en los segundos. Pero el descubrimiento de Reptiles que unen los dos tipos de articulación hace más difícil localizar la separación.

A decir verdad, querer clasificar a cualquier precio algunos fósiles, ya sea en una clase, ya sea en otra, es una aberración científica. Estos fósiles son a la vez Reptiles y Mamíferos. La posición sistemática que se les asigne será arbitraria.

Por otra parte, el paleontólogo no dispone más que de un aspecto del ser que se esfuerza en reconstruir. Las partes blandas y sus funciones siguen siéndole desconocidas. No sabiendo si esos seres eran o no pilosos y Mamíferos (en el sentido etimológico del término), ¿cómo pronunciarse con tan pequeña certidumbre?

Sin embargo, entre los caracteres de que se dispone para separar los Reptiles de los Mamíferos hay uno, descubierto por HOPSON (1971), que nos parece de una gran importancia. Los Mamíferos tienen sólo dos denticiones aparentes; son fundamentalmente difiodontos, mientras que todos los reptiles Teriodontos estudiados hasta ahora tienen un número más elevado de denticiones sucesivas; son todos polifiodontos. Pretendiendo encontrar un hecho que demostrase la selección, HOPSON imaginó que la difiodontia de los Mamíferos está en estrecha correlación con la dependencia del joven respecto a su madre, por los cuidados de la lactancia, mientras que en los Reptiles (Cinodontos comprendidos) la cría que sale del huevo es independiente y prescinde de los cuidados maternos. No nos parece clara la relación entre el número de denticiones y el modo de alimentación de las crías. HOPSON olvida que algunos Mamíferos prescinden muy bien de una dentición de leche; los Cetáceos odontocetos son monofiodontos, la dentadura funcional de los Sirénidos es la de leche; los molares de la segunda dentición del dugongo son reabsorbidos antes de funcionar.

Y, desde la perspectiva utilitaria de los darwinistas, debemos deplorar que los Mamíferos tengan sólo una dentición de reemplazo; el hombre tiene experiencias acerca de los inconvenientes de esto; la escasa longevidad de ciertos Roedores

(Microtinae, por ejemplo) es debida al rápido desgaste de sus dientes, que no vuelven a crecer. Pero ¿podemos ofrecer algún remedio?

Las características de la evolución creadora en los reptiles terápsidos

Dados los caracteres que los Teriodontos han adquirido en 60 millones de años o más, sus mutuas ordenaciones y su cronología, estamos en condiciones de hacer el balance siguiente:

1.º La evolución de los Teriodontos ha sido doblemente orientada y progresiva:

A) En un sentido general hacia los Mamíferos.

B) En un sentido propio de cada línea.

2.º Los caracteres de mamífero no son los mismos en todas las líneas de Teriodontos y no se expresan igual ni idénticamente en todas. Cada línea les impone más o menos su propio sello.

3.º Las variaciones que han experimentado los Teriodontos se suman en el tiempo (lo que expresamos por los términos *manifiestan una tendencia a*).

4.º Las variaciones se complementan y se coordinan a medida que se producen: por ejemplo, el desarrollo del dentario y la transformación concomitante de la musculatura masticadora.

5.º Las variaciones observadas en el seno de las líneas de Teriodontos tienen un carácter ordenado. Nunca se distribuyeron de manera caótica.

6.º Las transformaciones en las líneas y sublíneas se operan con lentitud, sin sobresaltos, sin trastornos cataclísmicos. Todo es ponderado, equilibrado. Los esbozos de estructuras se fortifican y *poco a poco* se van convirtiendo en órganos bien conformados y funcionales.

7.º En ningún momento las novedades han afectado a ningún carácter fetal; en ningún momento las formas fósiles se han detenido en su desarrollo. Nada de esta evolución denota de cerca o de lejos la neotenia, o la fetalización en el sentido de BOLK.

La mayoría de estos hechos han sido constatados parcialmente por los paleontólogos (ROMER, HOPSON, CROMPTON, y otros), que hablan sobre todo de una evolución paralela haciendo alusión a la

teoría neodarwinista; a esto —o casi— se limitan sus especulaciones sobre los fenómenos evolutivos.

El árbol genealógico de los Teriodontos tiene el aspecto de un matorral en el que todas sus ramas desiguales se dirijen hacia la forma de mamífero según diferentes modalidades.

Esta orientación perseverante de la evolución, según la doctrina darwinista, dependería de una información preexistente en los filamentos del ADN cromosómico creada por una sucesión de azares.

Antes de extraer del registro paleontológico las enseñanzas que contiene, digamos sin insistir, puesto que es evidente, que la evolución de los Reptiles Teriodontos se ha desarrollado sin que los factores darwinianos (variaciones aleatorias y selección subsiguiente) se manifiesten para nada.

Sin embargo, OLSON (1944), SIMPSON (1960) y MAYR (1963) han pretendido explicarla en función de estos factores. Todos postulan, sin ninguna restricción, que la doctrina darwinista es verdadera. Consideran los hechos que están de acuerdo con ella, con exclusión rigurosa de aquéllos que la invalidan o que subrayan sus defectos.

En realidad, y con absoluta objetividad, se constata que las variaciones de los Teriodontos y los Mamíferos primitivos no tienen nada de aleatorio; se suman, se ajustan en el curso de los tiempos, sin tener la menor apariencia patológica. Ningún hecho característico de la mamalización exige, para ser explicado, recurrir a la selección. La diversidad de subtipos (la evolución es en «matorral»), las grandes distancias que separan las poblaciones, los climas diferentes que sufren, hablan, por el contrario, en contra de la selección.

El relato que G. SIMPSON hace de la historia de los Équidos es demostrativo de la influencia que ejerce la doctrina sobre el observador. El darwinista incondicional niega la existencia de la evolución orientada, aunque sea evidente, y la confunde equivocadamente con la ortogénesis, a pesar de que recurre a ella casi constante e involuntariamente.

Se manifiesta a favor de la opinión clásica según la cual todos los Équidos derivan del género *Hyracotherium* (Eoceno de Europa) y *Eohippus* (Eoceno de América del Norte) que considera prácticamente idénticos y que han dado lugar a dos líneas: los

Équidos verdaderos de América del Norte (pasaron a Europa en Plioceno-Pleistoceno) y los Paleotéridos en Europa. No consideramos más que los Équidos que se han diversificado en pequeñas ramas evolutivas tales como los *Anchitherium*, los *Hypohippus*, los *Stylohipparion*... Y en Équidos propiamente dichos, que culminan en el género *Equus*. Según SIMPSON la diversidad de líneas demuestra la inexistencia de orientación evolutiva; sin embargo lo que describe es precisamente la evolución ramificada o verticilada cuya forma «caballo» es la constante en todas las sublíneas. Está más o menos conseguida, *pero siempre presente* y en cada una de ellas, con el tiempo, la realización del idiomorfo caballo progresa. El cuadro que en su libro *Horses* propone SIMPSON (1951) de la evolución de los Équidos nos satisface; pone muy bien en evidencia las tendencias evolutivas, y su autor hace de la «ortogénesis» lo que M. JOURDAIN hacía de la prosa sin saberlo. No hace notar en esta evolución más que un solo carácter que aparezca bruscamente: la cementación (con tejido óseo) de valles que dibujan los pliegues de esmalte en la cara trituradora en los dientes yugales de *Merychippus* del Plioceno medio de América del Norte. En realidad, este carácter hizo su aparición antes en Europa en el Oligoceno, en *Plagioloppus javali*, un Paleotérido europeo, y se inserta en el haz de las particularidades equinas; en *Plagioloppus*, se encuentra asociada a la hipsodoncia y a una tendencia muy fuerte a la monodactilia: el dedo medio (III) domina con mucho sobre los otros dos dedos que lo flanquean [27].

Un conjunto tal de caracteres que se manifiestan a los dos lados del Atlántico (antes en Europa que en América) excluye toda intervención del azar. Las poblaciones de Équidos de Europa y América han realizado una experiencia natural de la que conviene sacar conclusiones. No va, seguramente, en favor de la doctrina darwinista.

En resumen, en todas las líneas de Hipomorfos, a medida que los géneros se suceden, el tamaño aumenta, el macizo facial domina cada vez más en volumen sobre el neurocráneo, los dientes ganan en altura, hace su aparición el cemento, se complican los repliegues del esmalte, se alargan los miembros, el cúbito y el peroné se

reducen a vestigios soldados al radio y la tibia, respectivamente, la predominancia del tercer dedo se convierte en una constante, esbozada en familias que (aunque tridáctilas) son funcionalmente monodáctilas, y se expresa plenamente en la monodactilia pura de los Équidos. El idiomorfo equino presenta otras muchas particularidades, entre las cuales se inscriben la estructura cerebral, la suspensión del cráneo, la forma general del cuerpo, etc., que están presentes en diferentes grados en las diversas sublíneas y por lo tanto, «personalizadas».

En su exposición teórica SIMPSON no se detiene en la estructura de la pezuña, a pesar de ser ésta la culminación de un proceso evolutivo repleto de hallazgos y precisión. La pezuña, en armonía con el miembro que remata a modo de dedal protector de la tercera falange, amortigua, sin resortes ni gomas, choques cuya fuerza puede llegar a ser superior a una tonelada métrica. No puede haberse formado por casualidad, ya que, sometida a examen, resulta ser un museo de coadaptaciones y novedades orgánicas. La pared córnea (contorno del casco) engrana con las láminas podofílicas de la capa queratógena por medio de sus láminas verticales queratofílicas. La longitud respectiva de los huesos, su modo de articularse, las curvas y formas de las superficies articulares, la propia estructura de los huesos (orientación, disposición, de los travesaños óseos), los ligamentos, los tendones que se deslizan en las vainas, los cojinetes amortiguadores, el hueso navicular, las cápsulas sinoviales y su líquido lubrificante seroso, implican una continuidad en la construcción que el azar, necesariamente caótico e incompleto, no es capaz de suministrar. Esta enumeración no concierne a las ultraestructuras, en las que brillan más aún las adaptaciones, que dan sus soluciones a los problemas de mecánica de sólidos que plantea la locomoción rápida sobre miembros monodáctilos.

Los Mamíferos, ¿clase homogénea o heterogénea?

Las últimas adquisiciones de la paleontología coinciden en derivar a los Mamíferos de los Cinodontos y en relacionar a éstos con los Ictidosaurios. Pero como ya hemos visto, los Cinodontos se han subdividido en diversas ramas, de las cuales es probable que varias hayan alcanzado el estado mamífero. Los Ictidosaurios y

Tritylodontos están ya a un paso de ser Mamíferos.

Los primeros Mamíferos aparecieron a finales del Trias; mostraban aún las marcas de su ascendencia reptiliana. Han sido encontrados en Europa, Asia y África. Pertenecen a tres familias **[28]**, de las cuales la menos mal conocida es la de los Morganucodóntidos (*Morganucodon* del Retiense de Clamorgan, País de Gales).

La mandíbula, formada por un único hueso dentario, lleva un cóndilo articular bien conformado que se articula con el escamoso. En su cara interna presenta una cresta longitudinal que bordea una ranura profunda. Esta ranura contenía, en *Oligokyphus*, el cartílago de MECKEL que, osificado en su extremo proximal, formaba el articular. Se ha llegado a la conclusión de que *Morganucodon* y otros géneros afines tenían un auricular que no se había transformado aún en el martillo (*malleus*) del oído medio, pero que no participaba ya en la articulación mandibulocraneana. Todo resulta bastante verosímil, ya que en el surco de otro ejemplar se han encontrado fragmentos óseos que pertenecen a un prearticular o un articular.

La embriogénesis de los Mamíferos actuales, que pone al descubierto sus estadios anteriores, respalda esta interpretación. En efecto, el cartílago de MECKEL (parte distal del arco mandibular del embrión) da lugar, por su región distal, a la mandíbula (= dentario de los Reptiles), y por su región proximal, a la cabeza del martillo (= prearticular de los Reptiles). El cuadrado de los Reptiles procede del cartílago palatocuadrado que corona el cartílago de MECKEL: se convierte en el yunque (*incus*) de los Mamíferos. El extremo proximal del arco hioideo (cartílago de REICHERT del embrión), da el estribo. Yunque, martillo y estribo forman la cadena de huesecillos del oído medio. La articulación mandíbulo-craneana de los Mamíferos ocupa, por lo tanto, una situación que se corresponde con la de la articulación dentario-articular de sus antepasados reptilianos.

Los dientes de *Morganucodon* eran, en número, de 48 a 54, con incisivos, caninos, molares y premolares (5/5$_{i}$, 1/1$_{c}$, 2/2 ó 3/2$_{pm}$, 4/4 ó 5/5$_{m}$) **[29]**. Presentaban caracteres reptilianos y de mamífero (MILLS, 1971). La oclusión dentaria casi perfecta y la estructura sectorial de los dientes yugales son características de los segundos;

el número de dientes, la presencia de un diente incisiforme sobre el maxilar, delante del canino, la sustitución de los dientes yugales partiendo desde atrás y la erupción precoz de los molares posteriores son caracteres de los Cinodontos.

Tomándolo todo en consideración los dientes de *Morganucodon*. se parecen mucho a los de los Mamíferos Triconodontos. VANDERBROECK (1964), HOPSON y CROMPTON (1969), consideran a este género como el más primitivo de los Triconodontos. Los dientes yugales en unos y otros tienen cúspides agudas dispuestas en triángulo y puntas suplementarias; recuerdan a los dientes de los Cinodontos, pero son los heraldos del diente tribosfénico de los Terios.

Hemos hecho mucho hincapié en las semejanzas existentes entre los esqueletos de los Morganucodóntidos y los Monotremas: reducción del aliesfenoides, del pétreo, que desempeña un importante papel en la formación de la pared lateral del cráneo cerebral, presencia de una cintura torácica con un coracoides, un procoracoides y un hueso impar, la interclavícula.

No obstante, fundándose en el conjunto de los caracteres craneanos (alisfenoides de tipo Cinodonto, lacrimal y yugal bien desarrollados), la mayor parte de los paleontólogos estiman que *Morganucodon* del Retiense (de Clamorgan, País de Gales), *Docodon* (formaciones de Morrison, Wyoming, EE. UU.), y *Peraiocynodon* (Purbeckiense, Inglaterra), merecen formar un orden particular, el de los Docodontos.

Es muy difícil determinar con precisión los lazos filéticos que unen los diversos tipos de Mamíferos del Triásico, Jurásico y Cretácico, ya que no disponemos más que de piezas esqueléticas incompletas y de dientes.

Los Mamíferos del Triásico y del Jurásico conservan varios caracteres reptilianos. Así, los Dryolestidos, una familia de Eupantoterios, los más antiguos (Kimmeridgiense de Portugal), presentan en su mandíbula un esplénico y un cartílago de MECKEL que persisten en el adulto; estos elementos reptilianos, no aparecen ya en los Dryolestidos (Cretácico inferior de España) (KREBS, 1971). Digamos de paso que estos Mamíferos Terios probablemente no se inserten en la ascendencia de los Euterios (Mamíferos superiores).

De mucha mayor importancia es el hecho de que la pared lateral

de la caja craneana no tenga la misma composición en todos los Mamíferos (K. A. KERMACK y Z. KIELAN-JAWOROWSKA, 1971). En los Terios fósiles, y en los actuales, está formada por el alisfenoides y por el escamoso. En los
no-Terios
(Docodontos, Triconodontos, Multituberculados, Monotremas), está constituida por la lámina anterior del pétreo.

Esta diferencia de composición posiblemente sea debida a un difiletismo; los Terios y los
no-Terios
procederían de dos grupos diferentes de Teriodontos Triásicos. No tenemos pruebas de ello.

Se han observado semejanzas entre Monotremas y Multituberculados; en ambos, el alisfenoides está muy reducido, el yugal falta; el lacrimal es muy pequeño o no existe; el ectopterigoides de los multituberculados se parece al pterigoides de los *Echidna*; pero ¿indican realmente estas semejanzas una filiación? Cabe dudarlo, teniendo en cuenta la muy acentuada especialización de los segundos; su dentadura, que evoca *grosso modo*, la de los Roedores, lo atestigua. La opinión según la cual los Multituberculados constituyen una línea independiente de la de los demás mamíferos ya desde su origen, se apoya en razonamientos anatómicos que ponen su acento en las diferencias existentes entre su esqueleto y el de los Monotremas.

Entre éstos, los principales caracteres reptilianos se encuentran en la cintura escapular (procoracoides, coracoides, interclavícula), situada por delante de la caja torácica **[30]**, la estructura de la pared lateral de la caja craneana, la puesta de huevos voluminosos telolecitos, la existencia de un diente para romper el huevo (*ruptor ovi*) sustentado por los premaxilares (como en los lagartos y las serpientes). El cráneo primordial de los Monotremas (= cráneo mucocartilaginoso) posee la pared original que existe en el cráneo de los Reptiles (pila antótica).

Semejante cúmulo de datos hace pensar que los Monotremas, un filum endeble, tempranamente detenido en su evolución y su expansión por las singularidades de su estructura y su reproducción, se han separado desde muy atrás de los demás Mamíferos y tienen por antepasados a los Mamíferos Mesozoicos que derivan de una

línea de Cinodontos diferente a la que ha dado origen a los Metaterios y los Euterios. Aunque hay paleontólogos que ven en los Multituberculados a los antepasados de los Monotremas, a falta de fósiles primitivos de éstos no puede determinarse sólidamente nada en este sentido.

El caso de los Marsupiales no resulta en absoluto más claro, aunque su anatomía y embriogénesis sean ricas en peculiaridades. Los zoólogos están más o menos de acuerdo, junto con los paleontólogos, en asignarles los mismos antepasados que a los Euterios, es decir, un Pantoterio de dientes tribosfénicos con esmalte prismático. Nuestro desconocimiento de las partes blandas de éste(e7) introduce una cierta duda en nuestras especulaciones, pero, sin embargo, resulta verosímil que ambos grupos se separaran muy tempranamente del bloque común Pantoterio, probablemente en el Cretácico medio [31].

La heterogeneidad de la Clase de los Mamíferos actuales es evidente. Se puede pensar que los primeros mamíferos no salieran todos de la misma línea de Teriodontos y que los Monotremas tengan una ascendencia distinta a la de los Terios, pero para nuestros propósitos, poco importa su monofiletismo o su polifiletismo; lo esencial reside en la diversidad de órdenes y subórdenes que nada oponen a la realización del prototipo mamífero, la cual no implica para nada ni rectigradación ni ortogénesis, y se produce poco a poco, por numerosos y divergentes caminos, a partir de un tronco arcaico común. La evolución está orientada, esto es seguro, pero sigue senderos diversos; todos los caminos llevan a Roma, todos los subfila llevan al prototipo. La historia de los mamíferos constituye la mejor prueba de ello.

La evolución de los Mamíferos, desde que el cráneo adquirió su configuración definitiva, ha venido marcada por un crecimiento considerable, en volumen y complejidad, del cerebro. No nos cansaremos de repetir que en los Teriodontos, la «mamalización» transformó sobre todo el esqueleto, la musculatura, la dentadura, pero no afectó gran cosa al cerebro. Éste no se desarrolló ya más que dentro de la clase misma de los Mamíferos, donde el aumento de la cerebralización ha sido el aspecto más importante de la evolución. El neurocráneo, incluso en los órdenes de macizo facial poderoso, no sufre nunca una reducción; el caso de los

perisodáctilos es, en este sentido, altamente instructivo.

Conclusión

La evolución creadora, a juzgar por los restos fosilizados, tiene sus propias características, profundamente diferentes a las de las mutagénesis (*véase también el capítulo IX*).

En efecto, las mutaciones no explican las variaciones coordinadas que actúan sobre varios órganos. Algunas mutaciones letales o subletales de un gen producen efectos múltiples. Así, por ejemplo, los ratones rinoceronte (DAVIES y colaboradores, 1971; MANN, 1971) proceden de la mutación de un único gen *rh* recesivo. Poco después de su nacimiento pierden el pelo. Al mes, cuando normalmente debería producirse una segunda crecida de éste, su piel se arruga y pierde su elasticidad. Este cambio es atribuido a la formación, en cantidad, de quistes intradérmicos procedentes de fragmentos aislados de folículos o canales pilosos. Las garras del animal se alargan y se curvan en zarcillo; el cuerpo entero se endurece por la secreción de una sustancia de consistencia cerúlea**(e8)**. La longevidad media de los mutantes es tan sólo la mitad de la de los individuos normales. El gen *rh*, en los individuos homozigóticos, perturba el metabolismo de los lípidos, produce una deficiencia en triglicéridos, una acumulación considerable de productos cerúleos y una elevación de contenido en un éster, el latosterol. Es así cómo afecta a la vez a varios órganos.

Otro ejemplo, una mutación que sustituye uno o varios aminoácidos por otro u otros en la globina de la hemoglobina humana según su posición, tiene consecuencias graves sobre la estructura de ésta (en grado variable) y sobre las propiedades de este pigmento. Tal es el caso de la hemoglobina anormal S en la anemia falciforme (drepanocitosis). Las moléculas de esta hemoglobina se alinean en filamentos y forman bastoncillos rígidos agrupados en fascículos que deforman el hematíe. Los glóbulos rojos que contienen hemoglobina S se ven destruidos casi en su totalidad, lo que tiene como consecuencia la aparición de una anemia con perturbaciones muy serias. Por ejemplo, el desarrollo de la médula ósea desproporcionado para acelerar la génesis de glóbulos rojos, trae consigo una modificación de los huesos del

cráneo (cráneo en torre), el corazón sufre una hipertrofia, los glóbulos falciformes se acumulan en el bazo, que se engrosa y se vuelve fibroso…

Pero estos estados patológicos no tienen *ninguna* relación con la construcción lenta y coherente de una forma y una función nueva. Nosotros no ponemos en duda los efectos múltiples, es decir, el pleiotropismo de un solo gen, pero no creemos que exista genético capaz de afirmar que las transformaciones de la mandíbula, de sus músculos y sus nervios, de los huesecillos del oído medio, etc., estén regidas por un único gen.

La mutación produce, tal y como la conocemos, efectos múltiples. Provoca la desaparición de una enzima, lo que lleva consigo la aparición de una cadena más o menos larga de consecuencias (pigmento del ojo de *Drosophila*, poder de síntesis del hongo *Neurospora*…). No construye nada, tan sólo transforma o destruye lo que ya existe.

Digamos de paso, que aplicar la genética a los fósiles constituye una operación difícil y erizada de peligros: ¿Mediante qué criterios, en ausencia de cultivos, se decide que tal modificación, observada en un hueso o en una concha, es una mutación? La genética paleontológica, incluso en casos tan favorables como el de la Paludina de Eslavonia, resulta tan sólo una acumulación de conjeturas y apreciaciones subjetivas.

MAYR recurre a la selección natural y pretende que la presión de selección resultaba grande entre las diversas formas de Teriodontos. ¿Qué sabrá él? Emite una opinión que no respaldan ni los datos demográficos (ignora las densidades de población, los parámetros ecológicos, etc.) ni los ecológicos o climáticos. No sabemos prácticamente nada acerca de los medios en que vivían los Teriodontos. ¿Cómo ha podido abocar la selección natural a la forma de mamífero operando sobre poblaciones que vivían en medios muy diferentes: Asia, África Austral, América del Sur? Las condiciones del medio ambiente variaban de un continente a otro y existían climas con características propias tanto en el Triásico como en el Jurásico. ¿Cómo pudo la selección natural favorecer por igual, en medio de tal diversidad, a las mismas formas en todos los lugares sin violar el principio neodarwinista de «a cada medio un genotipo privilegiado que, al azar, está mejor preadaptado»? No podemos por

menos que plantear la cuestión.

3. La evolución, fenómeno histórico discontinuo

Para comprender un bosque, su vida y su ciclo biológico, tenemos a nuestra disposición dos métodos: proceder a un análisis minucioso, inventariando todas las especies, árbol por árbol, realizando un estudio químico y granulométrico de sus suelos, y un estudio climático de la región y de los biotopos, o bien considerar el bosque como un superorganismo con una vida y una ecología propias. Del mismo modo podemos seguir la evolución línea por línea, e incluso a veces género por género, o asemejarla a un inmenso fresco que no revela su sentido profundo más que desde la distancia. En realidad, el biólogo no tiene elección posible; recurre necesariamente a los dos métodos, ya que el uno complementa al otro. Vamos a intentar demostrarlo en las siguientes páginas.

Discontinuidad de la evolución

Es ya clásico admitir que la evolución es un fenómeno continuo que se inició con la síntesis de sustancias prebióticas y finalizará cuando muera el último ser organizado, sobre un planeta ya envejecido incapaz de sustentar la vida. Algunos biólogos elevan esta noción a rango de ley general y la denominan *ley de la continuidad evolutiva*.

En realidad es a la vez cierto y falso que la evolución sea un fenómeno continuo. Expliquémonos.

Visto desde arriba el mundo de los seres vivientes parece móvil y cambiante, siendo tanto más amplias sus modificaciones cuanto mayor lapso de tiempo se considere. Si las examinamos con detalles, observaremos que las diferentes líneas varían a diferente velocidad.

La evolución es un fenómeno que se produce a velocidades

variables y que llega incluso a detenerse en muchas líneas. En la naturaleza se manifiesta hoy en día con gran discreción, y le han sido erróneamente atribuidos multitud de cambios orgánicos o fisiológicos.

Examinemos dos casos extremos: la multiplicación de las Bacterias y la de los Homínidos.

Una generación humana viene a durar veinticinco años de media, una generación bacteriana una media hora (20 minutos a 37 $_{o}$C). Dicho de otro modo, la multiplicación en el caso de las bacterias es al menos

400 000

veces más rápida que en el hombre [32].

Consideremos los 3.500 000 años que separan al australopiteco más antiguo del hombre de nuestros días. En el transcurso de este período, suficientemente largo como para que se haya producido una evolución importante, han aparecido mutaciones tanto en las Bacterias como en los Homínidos.

Si nos referimos a los datos aportados por los bacteriólogos (STAINER y colaboradores, 1966) las poblaciones de bacterias en cultivo cuentan con un mutante por cada 10^9 individuos que se dividen. Esta proporción parece escasa en relación con la de los seres celulares; se presume que en las poblaciones naturales de bacterias la tasa de mutación es más elevada.

Sea cual fuere el valor de esta proporción el volumen de las poblaciones bacterianas es tan inmenso que el número de mutantes resulta a su vez inmenso. En

3.500 000

años supera los miles de billones.

En el transcurso de ese mismo período, las pequeñas poblaciones de Homínidos han producido tan sólo algunos millones de mutantes como máximo.

A un ritmo de 17 520 generaciones al año, todas ellas ricas en mutaciones, propagadas en los medios más diversos (desde el cuerpo de los animales y plantas hasta el suelo, el agua…) las bacterias no han variado en lo más mínimo su plan de organización, que permanece inalterable desde los tiempos en que sus antepasados precámbricos metabolizaban las sales férricas de las lagunas.

Los Homínidos prosiguieron su rápida evolución durante 3.500 000 años, consumando su estructura cerebral, y han llegado a ser completamente bípedos y erectos.

Esta comparación nos muestra que las mutaciones, por numerosas que sean, no llevan consigo necesariamente una evolución, lo que asesta un durísimo golpe a las ideas ultradarwinistas.

Las Esquizofitas[33] y sus grandes tipos existen desde tiempos extremadamente antiguos, precámbricos. El gran hecho histórico que debemos tener en cuenta es que, a pesar de su infinito número, no han dado más que *una vez* lugar al organismo celular, a través de un proceso acerca del cual no tenemos el *más mínimo* conocimiento. No debemos olvidar que la célula adopta el mismo plan de organización en todos los organismos, presentando un núcleo de membrana definida, perforada por multitud de poros, en el que están encerradas las macromoléculas de ADN incorporadas en unos orgánulos, los cromosomas, que están altamente organizados y en cuya estructura participan diversas proteínas, de las que tan sólo las histonas han sido objeto de una investigación concienzuda.

En la naturaleza de nuestros días las Esquizofitas y entre ellas, sobre todo, las Bacterias, por sus numerosas mutaciones, varían mucho y con gran desorden, pero tan sólo «giran sobre sí mismas», oscilan en torno a su forma específica y en definitiva permanecen prácticamente inmutables, es decir, no evolucionan. Las Bacterias han venido siendo bacterias desde hace 2 ó 3 mil millones de años.

Hay cuatro acontecimientos que han tenido consecuencias incalculables en la marcha de la evolución: la síntesis de la clorofila, la transición de Esquizofita a célula nucleada, la de célula aislada a organismo pluricelular y la de Metazoo de dos hojas (diblástico) a Metazoo de tres. La reproducción sexual, gracias a la combinación de los caracteres de dos seres en uno solo y por medio del juego de las sucesivas generaciones de toda una población, ha desempeñado un papel capital en la historia de los dos Reinos.

La génesis de los planes fundamentales de organización que caracterizan los fila y las clases, ramas maestras del árbol genealógico del reino animal, ha sido la gran obra de la evolución.

Las creaciones han resultado ser poco numerosas: menos de veinte fila y ochenta clases para el Reino animal (menos de la mitad para el Reino vegetal). Por añadidura, estas creaciones son muy antiguas. El último filum en surgir (el de los Vertebrados), hizo su aparición con los Agnatos (Ostracodermos, Ciclóstomos) en el Ordovícico, y con los Peces en el Devónico, hace unos 450 millones de años [34].

Después del Jurásico (Retiense, 200 millones de años), época de los primeros Mamíferos y de los precursores de las Aves (Portlandiense, 135 millones de años), no ha aparecido ninguna clase nueva.

La interrupción de la génesis de planes fundamentales y su pequeño número son un hecho cuya importancia para comprender la evolución no se ha tenido nunca suficientemente en cuenta. Estos hechos significan:

El poder creador de la evolución ha ido disminuyendo a medida que fueron envejeciendo la flora y la fauna, y desde el Eoceno (-60 a -33 millones de años), la aparición de órdenes nuevos está estacionaria, siendo el último en aparecer el de los Mamíferos Euterios y el de las Aves.

Los Artrópodos, representados ya desde el Cámbrico por los Trilobites, los Merostomas y los Crustáceos, perdieron a los primeros en el Pérmico, tras un largo período de decadencia que comienza en el Devónico; los segundos desaparecieron en la misma época, excepción hecha de algunos Limúlidos (*Limulus* y *Carcinoscopius*). En lo que se refiere a los Quelicerados y a los Crustáceos, al contrario que los Merostomas, han seguido evolucionando y dando lugar a subclases y órdenes.

Los Insectos, conocidos desde el Devónico, se han mantenido con toda constancia. En nuestros días son numerosos y diversos. Del mismo modo que los Crustáceos, han perdido órdenes, superfamilias… pero en ningún momento de su historia, y a pesar de su antigüedad, han desfallecido; mantienen tanta riqueza en tipos como en el pasado [35]. A pesar de este vigor, la historia de los Insectos, de la que desconocemos el punto de partida, no ha transcurrido de un modo regular. Las subclases se suceden en serie casi lineal, desplazándose las unas a las otras; algunas alcanzan un apogeo y entran en declive; otras siguen siendo tan prósperas como

en el momento de su origen (caso de los Colémbolos, Ortópteros, Odonatos, todos los Holometábolos…). Los Paleopterianos [36] dominaron desde el Westfaliense hasta finales del Pérmico; les siguieron los Odonatos y Efemerópteros que, en numerosos aspectos, continúan siendo muy arcaicos. Los Polyneópteros (6) (cucarachas, termitas, Plecópteros, Ortópteros, Dermápteros) que han sido sus contemporáneos, vigorosos y ricos en especies desde finales del Paleozoico, no manifiestan signo alguno de agotamiento.

Los Oligoneópteros (Coleópteros, Neurópteros, Mecópteros, Dípteros, Tricópteros, Lepidópteros, Heminópteros) y los Paraneópteros (Psocópteros, Tisanópteros, Hemípteros) son los órdenes más ricos en especies de todo el Reino animal. Algunos de ellos (Lepidópteros y sobre todo Himenópteros) dieron lugar a una enorme cantidad de formas nuevas cuando en el Cretácico las plantas con flores se desarrollaron ampliamente. Poblaron de golpe el nuevo espacio creado mientras se originaba simultáneamente una infinidad de especies. Se establecieron relaciones estrechas entre las flores de numerosas fanerógamas y los Insectos nectarívoros o polinívoros, y algunas de ellas son fecundadas exclusivamente por los Insectos que las visitan, llevando el polen de unas a otras; éste es el caso de las orquídeas, ricas en adaptaciones morfológicas, fisiológicas y etológicas a este modo de reproducción.

Los Insectos cuentan en su seno con venerables reliquias. En los Odonatos, *Hemiphlebia mirabilis*, que vive en Australia, está estrechamente emparentado con los Protozygópteros del Pérmico. Las cucarachas actuales difieren en muy poco de las de la Era Primaria, período en el que, gracias a la extensión de los bosques encontraban un inmenso biotopo que les convenía. Desde el Westfaliense superior, ponían sus huevos encerrados en ootecas, al igual que lo hacen las especies actuales. Desde el Pérmico, las Efímeras han cambiado muy poco; por ejemplo, las larvas de *Phthartus rossicus*, pertenecientes al Pérmico superior de Orenbourg (Rusia), recuerdan mucho a las Efímeras de nuestros riachuelos.

Los Mecópteros han conservado relaciones muy estrechas con sus antepasados directos del Pérmico. Así, tenemos los *Taeniochorista* y *Chorista* de Australia, los *Nannochorista* de Chile, Argentina, Tasmania y Australia, los *Choristella* de Nueva Zelanda,

cuyo origen Gondwaniense no parece ofrecer dudas.

De estos hechos se deduce que la clase Insectos no ha declinado en ningún momento, y que sigue adelante con el mismo vigor que en el pasado, pero que su fase creadora ha llegado a su fin. Desde hace entre 70 y 30 millones de años, no ha adquirido ningún orden nuevo, y su evolución a partir del Oligoceno (Ámbar del Báltico) no traspasa las fronteras del género, y esto observándola con buena voluntad. Pueden apreciarse multitud de pequeñas variaciones (=mutaciones), entre las cuales, por ejemplo, las Drosofilas (*Drosophila*), *Sciara, Habrobracon* y Doríforas constituyen la alegría de los genéticos, pero estas mutaciones jamás traspasan el marco de la especie. La mayoría de los Insectos incluidos en las resinas del Oligoceno pertenecen a géneros que aún existen. Por ejemplo, conocemos tres especies de fósiles de la termita *Reticulitermes*, género actualmente distribuido en la subregión paleártica. Es posible que algunas determinaciones no sean en exceso rigurosas, y que los géneros estén imperfectamente definidos, pero qué importa: el parecido de los insectos del Oligoceno con las especies actuales es tan obvio que quedan claramente al descubierto las debilidades de la evolución [37].

Los Moluscos, que antes de finalizar el Secundario perdieron a los Ammonites y los Belemnites; los Equinodermos, que han padecido grandes pérdidas (Cystoideos, Blastoideos) y llevan a cuestas una clase reliquia (los Crinoideos), los peces Selacios y Actinopterigios… continúan prosperando y las formas reliquias conviven junto a las de fecha más reciente. En todos estos casos, tanto o quizá más que en el de los Insectos, la evolución ha sido apenas perceptible. Excepción hecha de algunos grupos de Moluscos Gasterópodos (*Vivíparus*, Helicínidos, *Partula, Achatinella*…) y Bivalvos (Unios, Anodontos), en los que continúa una especiación ligada al neoendemismo, ofrecen una imagen de estancamiento evolutivo.

La última gran «explosión» evolutiva se produjo después de la desaparición de los Dinosaurios, a finales de la Era Secundaria y principios de la Terciaria, cuando se diferenciaron los diferentes órdenes de Mamíferos Euterios y Aves. Al mismo tiempo, los Marsupiales (Metaterios) de Australia sufrían una evolución análoga, pasando a ocupar la mayor parte de los nichos ecológicos

de este continente y produciendo formas similares a las de los Euterios, que estaban extendidos sobre el resto de la tierra: carnívoros (semejantes a los Cánidos y Úrsidos), trepadores, voladores (planeadores), cavadores (semejantes al topo), arborícolas, etc., estando ausentes, sin embargo, las formas similares a los Primates.

Los Notoungulados, «relegados» a América del Sur desde el Eoceno hasta el Cuaternario, imitaron a los Artiodáctilos rumiantes, a los Perisodáctilos équidos, a los Roedores… Todos ellos desaparecieron sin dejar descendencia.

La evolución de los Primates, de la que conocemos hoy varias etapas, se muestra rica en enseñanzas. En todos los casos —dejemos a un lado por el momento el caso del hombre— se ha detenido hace ya mucho tiempo. Los Tarsiidae (género *Tarsius*) están estrechamente emparentados con las formas fósiles del Eoceno; los Lémures, cuyo pasado sigue siendo en parte desconocido, aparecen bajo formas de muy desigual grado de especialización; los Lorísidos (África continental y Este de Asia), arborícolas cuyos pies y manos conforman pinzas que recuerdan a las de los camaleones, nictálopes de locomoción lenta, precavida y silenciosa, probablemente sean los más comprometidos en la senda de la especialización, pero todos los Lémures parecen estar morfológicamente estabilizados, estando más cerca del estatus de reliquias que del de seres en evolución.

Los Cercopitécidos sólo son conocidos a partir del Mioceno; estaban comprometidos ya desde entonces en la vía que los condujo al estado cinomorfo que alcanzaron plenamente a finales del Mioceno o principios del Plioceno. *Mesopithecus* (Pontiense de Grecia) era un mono muy cercano a los Semnopitecos (*Presbytis*) que viven actualmente en la India. La evolución de los Cercopitecos había, pues, acabado prácticamente hace unos 10 ó 12 millones de años. Los Póngidos antropomorfos tienen por antepasados a los Dryopitecos (*sensu latissimo*) del Mioceno y al *Proconsul*, que data del Plioceno (9 millones de años). Este último está tan próximo a los dos póngidos africanos, chimpancé y gorila, que no resulta exagerado decir que en el Plioceno existían ya estos dos grandes simios.

Para concluir, las tres grandes líneas de Tarsiidae**(e9)**, Lémures y Simios se encuentran actualmente en un punto muerto.

¿Ocurre lo mismo con nuestra propia línea? Y la génesis tan reciente del cerebro humano (hace alrededor de
100 000
años), ¿acaso no desmiente la idea de que la evolución ha perdido su capacidad creadora?

En realidad, cualquiera que sea el alcance de la hominización para el equilibrio y el porvenir de la biosfera, aparece como un fenómeno evolutivo que no ha tenido nada de extraordinario en su desarrollo, pero que, aún así, ha adquirido una importancia incalculable por sus consecuencias.

Entendámonos bien. Mientras que en el transcurso de la Era Terciaria, y relativamente temprano, los simios (Cinomorfos y Antropomorfos), a la vez que desarrollaban mucho su cerebro (que sigue siendo, no obstante, muy inferior al del hombre), se hacían perfectos trepadores (adquiriendo así su más original especialización), los Homínidos dejaron rápidamente de ser arborícolas, si es que lo llegaron a ser alguna vez (sólo considerar la anatomía del pie es suficiente para plantear serias dudas a la idea de un arboricolismo ancestral), vieron aumentar el tamaño de su cerebro, desarrollando éste una creciente alometría con respecto a las demás partes del cuerpo (BAUCHOT, 1972; PORTMANN, 1972), a la vez que su complejidad, especialmente en el neopalio (hemisferios cerebrales) que, con sus miles de millones de neuronas con dendritas ramificadas, llegó a ser un órgano dotado de propiedades nuevas, que se diferenciaba en el niño por una estimulación especial.

Al mismo tiempo, el esqueleto y la musculatura se modificaron hasta tal punto que la marcha pasó de ser cuadrúpeda a bípeda (migración del orificio occipital bajo el cráneo, reducción del macizo facial, curvatura de la columna vertebral, ensanchamiento de la pelvis, plantigradismo total…) y los miembros anteriores dejaron de ejercer función locomotora alguna, que quedaba asegurada por los miembros posteriores.

Las modificaciones del cerebro, tanto las cualitativas como las cuantitativas, han sido el tema central de la evolución de los Homínidos, que no han podido escapar a la regla de la especialización a la que están sometidas todas las ramas zoológicas de orden secundario. Estas modificaciones nos han conferido la

conciencia y la razón, de las que nace la libertad de decisión. Han hecho posible e inofensiva la pérdida de conductas innatas y automáticas y nos han otorgado el poder de adaptarnos a una infinidad de circunstancias, sin comprometernos en la vía esterilizante de la especialización orgánica o funcional. Se podría añadir, sin caer en la paradoja, que la especialización de los Homínidos, gracias a su cerebro, ha sido una «contraespecialización». En este aspecto, precisamente, es donde su evolución ha tenido un carácter desusado, sin llegar a alcanzar por ello, en el aspecto anatómico y fisiológico, incluyendo al sistema nervioso, la amplitud de la génesis de un filum o una clase que cree o altere profundamente un plan de organización.

En realidad, la hominización no es más que la evolución de una línea secundaria y ramificada cuyas características más marcadas son el perfeccionamiento (no existe término más adecuado) del cerebro y de la mano, del mismo modo que la monodactilia y la hipsodoncia son las características más marcadas en el caso de los Équidos.

Desde hace 100 000 años, *Homo sapiens* (comprendidos los *praesapiens*) se mantiene físicamente estabilizado. Dueño de la tierra y de su propia evolución, ya que de todos los seres vivos es el único que puede asignar una finalidad a su existencia, progresa o se retrotrae a voluntad, dudando entre una hominización más elevada y un regreso a la animalidad.

A lo largo de su evolución, cada línea se comporta como un superorganismo que obedece a los dictados de su propio destino. Algunos recorren un camino que comprende tres períodos, pasando imperceptiblemente de uno a otro.

A) Los pioneros de la línea, generalmente poco numerosos, ocupan un área geográficamente restringida. Su anatomía se especializa poco, pero pone al descubierto, no obstante, peculiaridades cuyo número y alcance van en aumento con arreglo a edad de la línea. Su evolución es lenta, incluso muy lenta. Es el *período juvenil*.

B) Después, este período de instalación, de espera, de vacilaciones, viene seguido por un período de gran actividad; la evolución se acelera, se precipita: las líneas se subdividen, se diferencian, se especializan y aparecen ramas laterales. Es el

período de madurez.

C) Finalmente, empiezan a escasear las novedades, a la variación rápida le sucede un período de relativa estabilidad. Algunas líneas desaparecen, otras se debilitan: es el *período de senescencia*; pero algunas líneas conservan su vigor y persisten aún.

Una época de referencia: El Mioceno

Nada puede ofrecernos una idea más exacta del transcurso de la evolución a lo largo de los últimos 30 millones de años que la comparación de la fauna de los tiempos del Mioceno (-26 a -12 millones de años) con la de hoy. Este período se encuentra a una distancia suficiente de nuestra era como para poder adoptarlo como punto de referencia.

Las condiciones climáticas y geográficas diferían de las de hoy en día. Los mares eran más cálidos y por lo tanto más favorables a la construcción de arrecifes de coral. En el Mioceno (Pontiense), se enfriaron, sufriendo a la vez una regresión. Esta regresión fue lo suficientemente fuerte como para provocar la emergencia del Istmo de Behring, pero las dos Américas quedaron separadas. Entre ambas emerge la Tierra Caribeña de los geólogos.

En Europa, el Golfo Germánico penetra profundamente en las tierras del sur de Escandinavia; el Mar del Norte queda bordeado al este por Escandinavia, al oeste por la masa de las Islas Británicas. Entre Viena y el Caspio, los hundimientos crean vastos estanques de agua salada que comunican con el Mediterráneo (estanque**(e10)** pannónico, póntico, arabigo-cáspico), y la India se encuentra separada del Himalaya por un profundo surco.

El clima es, en términos generales, más cálido. Una gran parte de Europa del Norte y Alemania se encuentra cubierta de bosques de coníferas (sequoias). La flora templada, sin palmeras, penetra muy hacia el norte; se encuentran sus huellas en Groenlandia por encima de los 80o N, con abetos, cipreses, álamos, sauces, olmos, tilos, abedules, cañas…

No obstante, a partir de esta época, las plantas tropicales van siendo progresivamente eliminadas de las regiones europeas. Las palmeras, *Camphorosma***(e11)**, los laureles, se vuelven escasos o desaparecen; tienden a predominar las especies de hoja caduca. En

América del Norte el clima es húmedo y varía poco del Sur al Norte; la flora se homogeneiza, perteneciendo a géneros que en su mayor parte perviven aún: Magnolios, Hortensias, Tulipanes, Sasafrás, Plátanos, Sequoias, Cedros**(e12)**… Para nuestros fines resulta importante saber que la flora del Mioceno difiere de la actual más por su distribución geográfica que por su composición. El número de Fanerógamas del Mioceno que aún viven es considerable. Las plantas superiores habían consumado ya sus grandes transformaciones.

La fauna marina recuerda mucho a la actual, con pequeñas diferencias en cuanto a su distribución geográfica, que obedecen al hecho de que los climas de entonces eran diferentes a los de hoy en día.

Los Foraminíferos nummulíticos de gran tamaño abundaban; algunos subsisten aún. Los Crustáceos son poco más o menos los de nuestros días, pero algunos grupos resultaban más abundantes, como por ejemplo, los *Balanus* con aspecto de pólipo, y los *Pyrgonia* son más abundantes porque su hábitat tenía mayor extensión (vivían en arrecifes de coral). Los Moluscos bivalvos del género *Tridacna* hacen su aparición en las formaciones de arrecifes coralinos de los mares cálidos indopacíficos.

En las lagunas pannónicas y arabigo-cáspicas más o menos saladas se desarrolla una fauna de bivalvos compuesta, fundamentalmente, por géneros que han persistido hasta nuestros días (*Dreissena, Congeria* y otros).

En las aguas dulces de Europa y América del Norte los géneros son los mismos; se presenta muy raramente una forma muy particular, por ejemplo, *Valenciennesia* (Mioceno superior). En el Mioceno, los Paludinas, los *Helix* (*s. l.*) parecen haberse multiplicado considerablemente, formando numerosas especies, la mayoría de las cuales existen aún.

Los Equínidos regulares, entre los Equinodermos, dieron lugar a algunos géneros nuevos (Temnopleúridos, Toxopneustidos, Equínidos) que, en su inmensa mayoría, han persistido. Los Equínidos irregulares se diversificaron bastante, pero en géneros muy especializados: *Monostychia, Mellita, Cleistechinus*… Pero ya al final del Eoceno, toda la trama sistemática de los equínidos estaba configurada, y a partir de entonces su tendencia a la

estabilidad no ha hecho sino acentuarse.

Los Vertebrados inferiores apenas han cambiado desde comienzos del Mioceno (–29 a –30 millones de años). Los Vipéridos, cuyos primeros representantes son conocidos desde el Oligoceno, se desarrollaron en el Mioceno, y sus osamentas se encuentran habitualmente en las formaciones continentales de Europa y parecen ser próximas a las de las especies actuales.

Las Aves del Mioceno constituían una rica fauna cuyos elementos eran conocidos en parte desde el Eoceno (20 familias) o el Oligoceno (14 familias). Los fósiles más antiguos de Struthioniformes (*Struthio*), Ótidos, Crácidos, Falcónidos, Laníidos, Fringíllidos, Motacíllidos, Córvidos, han sido encontrados en sedimentos del Mioceno.

Varias familias, de las cuales la mayoría pertenecen al orden Passeriformes, que cuenta por sí mismo con tantas especies como todos los demás reunidos, parecen haberse diferenciado después del Mioceno. Son numerosas las especies que sólo son conocidas en estado fósil a partir del Pleistoceno (22 familias); pero el descubrimiento de un fósil no determina necesariamente la fecha de la aparición del animal fosilizado, su género o su familia. Muchos fósiles exhumados por vez primera en un determinado sedimento han aparecido a continuación en otro más antiguo.

Las cifras, en el caso de las Passeriformes, son tan elevadas (un mínimo de 17 familias exclusivamente pleistocénicas) que no podemos por menos que admitir que su evolución genética y familiar ha seguido su curso hasta la época actual (véase E. MAYR). En el curso de su historia, las Carinatas han perdido 21 familias, de las que 10 datan del Eoceno, 6 del Oligoceno, 3 del Mioceno y 2 del Pleistoceno.

He aquí, a modo de ejemplo, una lista, *voluntariamente limitada*, de *géneros actuales* encontrados en estado fósil en sedimentos que datan del Eoceno al Mioceno superior (la edad citada es la más antigua):

Albatros: *Diomedea tryidata*, Mioceno superior, Australia.

Frailecillo: *Puffinus calhouni*, Mioceno superior, California.

Petrel: *Fulmarus hammeri*, Mioceno superior, California.

Garza: *Ardea piveteaui*, Eoceno superior, yeso de Montmartre.

Buaro: *Buteo circoides*, Oligoceno medio, Gobi occidental. *Buteo pusillus*, Mioceno medio, Saint-Alban, Isère (Francia).

Aethia: *Aethia rossmoori*, Mioceno superior, California.

Pterocles: Pterocles larvatus y *P. validus*, fosforitas de Quercy, Lot (Francia), Eoceno superior, Oligoceno inferior.

Búho: *Bubo incertus*, fosforitas de Quercy. *B. poirieri*, Mioceno inferior, Saint-Geránd-le-Puy, Allier (Francia).

Autillo: *Otus wirttershofensis*, Mioceno medio, Baviera. *Asio, Asio henrici*, fosforitas de Quercy.

Strix: Strix dakota, Mioceno inferior de Dakota del Sur, *S. brevis*, Mioceno medio, Baviera.

Tyto: Tyto ignota, Mioceno medio, Sensan, Gers (Francia), *T. sancti-albani* y *T. edwarsi*, Mioceno medio de Grive St. Alban, Isère (Francia).

Vencejo: *Apus ignotus*, Mioceno medio, St. Gérand le Puy, Allier (Francia). *A. gaillardi*, Mioceno medio, La Grive St. Alban, Isère (Francia).

Golondrina: *Collocalia incerta*, Mioceno medio, St. Gérand (Francia).

Las especies que acabamos de enumerar han desaparecido, pero los géneros a los que pertenecían subsisten con otras especies muy similares. La especiación ha constituido, para todos estos géneros, y para otros no mencionados, su única forma de evolución.

El Mioceno se encontró con una fauna de Mamíferos ya muy diferenciados. Los Proboscídeos, con los Mastodontes y los Dinoterios, se encontraban en plena expansión. Los Perisodáctilos alcanzaron su apogeo (Rinocerótidos) o evolucionaron rápidamente (Équidos). Aparecieron multitud de Artiodáctilos (Hippopotámidos, Cérvidos, Bóvidos, Óvidos(7), Caprinae). Los Creodontos están ya representados tan sólo por unos pocos géneros.

Los Carnívoros fisípedos se encontraban en su apogeo o casi. Los Cánidos, los Hyaenidos, aparecieron por vez primera y los grandes félidos se hallaban en pleno desarrollo. Algunos, como los *Machairodus* de Eurasia (con los caninos superiores en puñal), reemplazaron a los géneros oligocénicos de hábitos similares que desaparecieron sin dejar descendencia. Los Pinnípedos aparecieron en el Mioceno inferior con los Otáridos, cuyos géneros eran

diferentes a los existentes hoy en día. Se han encontrado osamentas de focas (incluido el género *Phoca*) en sedimentos procedentes del Mioceno superior.

En América del Sur, los Notoungulados y sus análogos los Liptoternos, se diferencian de varias maneras. Los Desdentados Xenartros continúan su evolución, ya muy esbozada en el Oligoceno y el Eoceno, mientras que se insertan nuevas ramas sobre las principales. Alcanzaron su apogeo en el Plioceno y el Pleistoceno, al final del cual se precipitó su decadencia: se extinguieron varias familias, Mylodóntidos, Megaloníquidos, Megatéridos, Glyptodóntidos, poco antes del Cuaternario o al comenzar éste. Tan sólo los Armadillos (Dasypódidos) superaron victoriosamente la prueba del tiempo. Los primeros hormigueros (mirmecofágidos) sólo son verdaderamente reconocibles en el Plioceno de Argentina; nada sabemos acerca del origen de los perezosos (Bradypódidos); pertenecen a un suborden, los Tardígrados, que conoció un gran esplendor en el transcurso de la Era Terciaria en América del Sur, y que dio lugar a varias líneas. El punto de partida de los Bradypódidos sólo puede fijarse en ausencia de fósiles, y de un modo un tanto arbitrario, en los Paragravígrados.

No conocemos las causas de la brutal desaparición de Glyptodóntidos y Gravígrados a finales del Pleistoceno. Dado que los cambios de clima no afectaron a la totalidad del área de distribución de estos animales (América del Sur, California, Nuevo Méjico), no resulta verosímil que hayan podido ser los agentes exclusivos de tal extinción, que ha afectado a familias muy diversamente especializadas.

Los Pangolines, que hicieron su aparición en el Oligoceno, vivían en un área de mayor tamaño que su actual zona de distribución (África, Asia tropical), y aparecían también en Europa; se les puede considerar actualmente estabilizados y en proceso de desaparición.

Los Lagomorfos probablemente aparecieron entre el Paleoceno y el Eoceno superior; existían ya varios géneros muy representativos del orden que se continúan en el Oligoceno, representados, por ejemplo, por *Palaeolagus* (Oligoceno de América del Norte). En el Mioceno se les encuentra en América del Norte, que parece haber sido su cuna. Su implantación en Europa se produjo muy recientemente; las osamentas de conejo (*Oryctolagus cuniculus*)

han aparecido en sedimentos Villafranquienses.

Los Roedores propiamente dichos forman un orden denso, muy rico en géneros y especies, entre las cuales existen muchas que tienen un carácter endémico (neoendémico). La clasificación, basada en los caracteres dentarios, aun habiendo sido aclarada por SCHAUB, no resulta aún plenamente satisfactoria. De lo que resulta que desconocemos la evolución del orden, ya sea con precisión o con certeza.

En el Eoceno-Oligoceno aparecen 18 familias; en el Mioceno, 6; en el Plioceno, 5, y en el Pleistoceno, 3. Esta estadística, basada en fósiles poco numerosos, nos indica sobre todo un orden de magnitudes; muestra también que en el transcurso de toda la Era Terciaria estos Roedores no cesaron de evolucionar dando lugar (hasta el Cuaternario) a nuevas familias. La producción de géneros resultó intensa: existen actualmente alrededor de 350 (datos del año 1952), además de otros 290 fósiles (datos del año 1958), pero ¡cuántos más no faltarán cuyas osamentas hayan sido destruidas o estén aún por encontrar! En el transcurso de la evolución, el tipo general «roedor» se ha conservado aun a pesar de sus variaciones; encontramos desde el cabial hasta el ratón de las cosechas, desde el castor a la ardilla, del ratón de campo a los Anomalúridos. En el Mioceno, la evolución de estos Roedores se hizo más lenta, pero siguió adelante en las épocas siguientes.

Los Insectívoros alcanzan su apogeo en el Oligoceno. En el Mioceno, este orden clave, del que han surgido los Quirópteros, Dermópteros y Primates, había perdido ya el grueso de sus efectivos. Persistían los Solenodóntidos; hoy están representados tan sólo por tres especies, muy raras, en Cuba y Haití. Las musarañas, los topos (adaptados a la vida subterránea), los erizos, estaban bien diferenciados. Numerosos géneros hoy desaparecidos, y la familia de los Dimylidos (que mostraban algunos caracteres de los erizos) se suman a los anteriores. No se conoce con certeza ningún fósil perteneciente a los Macroscélidos. Los Tupalidos, de los que un género fósil, *Anagale*, dejó su huella en los yacimientos Oligocénicos de Mongolia, no han dejado el menor vestigio en el Mioceno.

Parece, pues, evidente que los Insectívoros no han aportado ninguna novedad digna de mención desde el Mioceno, y que su

evolución se ha limitado a la formación de especies y algunos géneros. En todo caso, este grupo, en el que coexisten especies muy especializadas (*Desmana*, topo…) y especies de estructura muy general, se muestra vigoroso. Las musarañas (*sensu latissimo*) y los topos se acomodan bien a la vecindad humana.

Nuestros conocimientos acerca de los Primates del Mioceno presentan grandes lagunas, ya que carecemos de fósiles de Tarsio y disponemos tan sólo de algunos de Lemuroideos. Pero existían, dado que han dejado sus restos en los sedimentos del Eoceno y el Pleistoceno. Los Lorísidos están presentes en el Mioceno de Kenya (*Indraloris* y *Propotto*), son muy próximos a las especies actuales.

El caso de los simios ha sido ya expuesto en la página 100.

No se ha exhumado hasta el momento ninguna osamenta miocénica que pertenezca con toda seguridad a un homínido. Se habla mucho del *Ramapithecus* (=*Kenyapithecus*), encontrado en los montes Sivaliks (India) y en Kenya (14 millones de años), pero los fragmentos de mandíbula y los dientes de que disponemos no nos permiten asignarles un lugar preciso en la clasificación. ¿Homínido o mono Póngido? No lo sabemos.

En el Mioceno, la evolución de los simios y de los antropoides había llegado a su fin, o estaba a punto de hacerlo, mientras que la del hombre estaba aún lejos de llegar a término.

Amortiguamiento de la evolución

Al recapitular sobre los hechos expuestos en las páginas anteriores, puede percibirse que el margen de maniobra de los procesos evolutivos ha ido disminuyendo de modo constante: la génesis de los fila se detiene en el Ordovícico, en el Jurásico se detiene la de las clases, y la de los órdenes en el Paleoceno-Eoceno.

Finalizado el Eoceno, aún fluía la savia evolutiva a través de algunos órdenes, puesto que tanto las Aves como los Mamíferos continuaban especializándose en diversos sentidos y conquistando todos los biotopos terrestres y marinos anteriormente ocupados por los Reptiles.

Poco a poco, las novedades evolutivas van cambiando de alcance. No afectan más que a detalles, dejando intacto el plan de organización[38]. La especialización es la forma en que se mantiene

la evolución a partir del Oligoceno en los Insectos, del Mioceno en los Moluscos, del Plioceno en las Aves y los Simios y del Holoceno en algunos roedores y Homínidos (*Homo sapiens*, en último lugar, data probablemente de hace
100 000
años).

La evolución no sólo ha visto disminuir su ritmo, sino que, a medida que iba envejeciendo la biosfera, ha visto disminuir también su alcance.

Está claro que hoy en día no actúa del mismo modo en que lo hacía en el pasado lejano. Algo ha cambiado. Sería de gran importancia saber qué es lo que ha sido, ya que esto aclararía el mecanismo íntimo de la evolución. Los planes de organización ya no sufren transformaciones, no surgen novedades. La evolución, tras el inmenso esfuerzo, el último, que le supuso la formación de los órdenes de Mamíferos y la humanización, parece agotada; se adormece. Todo esto no es, desde luego, más que una metáfora, pero describe bien la situación actual de los fenómenos evolutivos.

¿Continúa la evolución produciéndose por las mismas causas? ¿Sigue produciéndose con arreglo al mismo mecanismo? Dado que, al parecer, las funciones fundamentales y los ciclos cromosómicos de las células han permanecido inmutables en los animales pluricelulares, nos inclinamos a creer que sí. En cualquier caso, los parones, los cambios de ritmo, la incapacidad de producir nuevos planes de organización no hablan ni en favor de la unicidad de los mecanismos evolutivos, ni de su constancia. Es también lícito suponer que sus efectos puedan haber perdido o adquirido algún factor nuevo que les haya impedido evolucionar como en el pasado.

La fase de gran fecundidad tocó ya a su fin: la evolución biológica actual tiene todo el aspecto de ser un proceso amortiguado, decadente o en vía de desaparición. ¿Seremos, tal vez, testigos de la remanencia de un fenómeno a punto de extinguirse? Las pequeñas variaciones que registramos en mayor o menor medida por doquier, ¿no serán los residuos, las últimas oscilaciones del vaivén evolutivo? ¿No faltará en nuestras plantas y animales un mecanismo que estuvo presente en la primavera de la flora y la fauna?

A menudo, es posible constatar que, aun estando presentes todas

las causas pretendidamente eficientes de la evolución, no deja por ello de detenerse la misma. VANDEL (1972) acaba de proporcionarnos un excelente ejemplo de esto.

Las dos especies de Isópodos del género *Australoniscus*, una de las cuales vive en el Nepal (*A. alticolus*) y la otra en Australia occidental (*A. springetti*), se separaron debido a la división del continente de Gondwana por la deriva continental a comienzos del Cretácico, es decir, hace entre 140 y 135 millones de años. Se diferencian por un carácter mínimo: «la extremidad del endopodito del primer pleópodo macho es diferente…: es recto en *springetti*, curvado en gancho en *alticolus*».

Así, pues, en el transcurso de 140 millones de años ni la segregación, ni las mutaciones (seguramente se habían producido), ni la selección actuando en medios ambientales diferentes han modificado a estos Crustáceos. Debemos, por lo tanto, buscar las causas de su estabilidad en la constitución íntima del animal. ¿Le falta acaso el medio de inscribir en su patrimonio hereditario una información nueva, o existe tal vez algún mecanismo que se oponga? Lo ignoramos.

Intentaremos responder a estas cuestiones recurriendo a las recientes aportaciones de la biología molecular (*capítulo VIII*).

Retendremos, no obstante, de nuestra panorámica general que la evolución no es ya lo que fue.

Esta situación de hecho, de alcance imprevisible, apenas ha llamado la atención de los biólogos que, sin embargo, no deberían limitarse a buscar un mecanismo para la evolución, sino que deberían también intentar dilucidar cuáles han sido las causas de que la creación de nuevos tipos se haya visto interrumpida y de que haya variado la velocidad del proceso evolutivo.

Por su gráfica, queda claro que la evolución consiste en una serie de fenómenos históricos e irreversibles. Ni se repite idéntica a sí misma, ni vuelve atrás. La evolución es en realidad una historia que, en algunos aspectos, se asemeja a la de una nación, o a la de una etnia. Es así como la evolución de los Homínidos pasa insensiblemente del dominio de la paleontología al de la historia propiamente dicha.

El árbol genealógico del reino animal

Con el fin de clarificar algunos problemas, echemos un vistazo a los árboles genealógicos, tal y como CUÉNOT (1952) y nosotros mismos
(1961-1968)
los hemos trazado, haciendo uso de los datos aportados por la paleontología, la anatomía y la bioquímica comparadas. Dado que no disponemos de fósiles pertenecientes a la ascendencia directa y próxima de todos los fila, todo árbol genealógico tiene una dosis de conjeturas.

Todos los fósiles de Vertebrados se relacionan inequívocamente con las clases actuales, ninguno de ellos puede ser confundido con el antepasado en potencia de los Agnatos o de los Peces (véase el capítulo I, página 39, nota3 a pie de página). El ascenso evolutivo hacia el tipo Vertebrado es tema de numerosas teorías (GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1818; MASTERMANN, 1897; GASKELL, 1908; PATTEN, 1890; GARSTANG, 1929; ROMER, 1955; JARVIK, 1960, y varios más) que apenas superan el dominio de la especulación.

Los Peces Crosopterigios, cada vez mejor estudiados, aparecen como el grupo de síntesis del que han salido los Vertebrados tetrápodos.

Un grupo, los Actinistios, ha permanecido estacionario desde el Devónico superior hasta el Jurásico. A juzgar por *Latimeria* de nuestros días, son excesivamente conservadores y están en exceso especializados como para haber participado en la génesis de los tetrápodos, que conquistaron la tierra firme. Este papel corresponde, según todas las apariencias, a los Crosopterigios Rhipidistios, provistos, como los tetrápodos, de fosas nasales internas (coanas).

Los Anfibios más antiguos que se conocen, los Estegocéfalos Ichthyostégidos, que hicieron su aparición en el Devónico superior (antigua arenisca roja de Groenlandia oriental), se parecen, sin lugar a dudas, a los Rhipidistios, sobre todo a los Osteolepiformes, pero presentan miembros típicos de los tetrápodos, llamados autópodos**[39]**, fijados al tronco por unas cinturas óseas características. Faltan los estadios de transición entre la aleta crosopterigia y el miembro tetrápodo. Sin embargo, los anatomos**(e13)** se esfuerzan en encontrar, en la aleta, los huesos que han dado lugar a los autópodos. No es una tarea fácil.

Cada aleta comprende una pieza ósea proximal que sería homologa al húmero de los tetrápodos, le siguen dos piezas óseas sobre las que se insertan varias hileras de huesecillos. La aleta se articula con una cintura, compuesta por cinco huesos, que es diferente de la de otros peces. La cintura anterior o escapular se une a la cabeza por dos huesos a cada lado, mientras que la de los anfibios está libre.

A pesar de las profundas diferencias existentes entre la aleta pediculada y el autopodio, resulta verosímil que el segundo proceda de la primera. *Ichthyostega* poseía una aleta caudal heterocerca gruesa, como la de un Crosopterigio. Las bóvedas craneanas de los Osteolepiformes y los Ichthyostégidos no tienen la misma composición. Por el contrario, los huesos de las mejillas son más o menos los mismos en unos y otros. En resumen, los Ichthyostégidos tienen demasiados caracteres en común con los Crosopterigios como para que aquéllos no formen parte de su ascendencia, sin ser por ello los antepasados directos de los Estegocéfalos, si bien, aparentemente, están en realidad muy próximos. Se supone que los *Ichthyostega, Ichthystegopsis* y *Acanthostega* constituyen una rama separada del tronco Crosopterigio-Anfibio, que después de una evolución rápida se ha «marchitado» sin dejar descendencia. Para apreciar mejor los grados de parentesco existentes entre estos grupos arcaicos habría que conocer las transformaciones sufridas por los sistemas respiratorio y circulatorio que hicieron posible la vida aérea, pero no tenemos idea alguna que esté basada en hechos.

La transición de Anfibios a Reptiles se produjo también por medio de formas arcaicas no especializadas. Fue tan imperceptible que algunos fósiles como los *Seymouria* se consideraron inicialmente como reptiles primitivos, mientras que hoy en día se les clasifica (con el nombre de Seymouriamorfos) entre los anfibios estegocéfalos labirintodontos **[40]**. Su esqueleto configura un verdadero mosaico de caracteres anfibios y reptilianos; su forma general es de gran vulgaridad, se parece a la de un tritón o un lagarto. En el cráneo no abundan los caracteres reptilianos (el lacrimal se extiende de la órbita a la fosa nasal externa **[41]** y, por el contrario, las vértebras de *Seymouria* y las de los Reptiles Cotilosaurios son prácticamente idénticas; los Reptiles poseen dos costillas sacras o más, los Anfibios una, pero *Seymouria* tiene dos.

En los miembros y las cinturas presenta varios caracteres reptilianos. El orden de los Seymouriamorfos tiene pocos caracteres peculiares (forma y posición del orificio auditivo, constitución de un complejo atlas axis, presencia de dos costillas sacras…) y ninguno de sus representantes presenta indicios de una especialización fisiológica o etológica.

Digamos que *Seymouria*, forma arcaica, presenta grandes afinidades con los Reptiles más primitivos, los Captorhinomorfos. Describimos por otra parte, con cierto detalle, la génesis de los Mamíferos a expensas de los Reptiles Teromorfos, notables por su anatomía arcaica y poco diferenciada.

Nuestra documentación sobre las Aves es menor, aunque dispongamos del extraordinario *Archaeopteryx*, verdadera mezcla de caracteres reptilianos y de ave. Desconocemos sus antepasados, por lo que el origen preciso de las Aves está aún por descubrir.

Las formas madre y la creación de novedades

Nuestros conocimientos alcanzan como para afirmar que *la filiación de un tipo de organización con otro no se efectúa nunca por medio de tipos especializados*.

La gran evolución ha tenido siempre lugar de una forma arcaica a otra también arcaica que, por su plan de organización, pertenecen ambas a una unidad sistemática definida, si bien conservan una estructura de tipo general.

Estas formas están tan poco especializadas que si las consideramos independientemente, no desvelan prácticamente nada acerca de su destino. Tan sólo adquieren valor y significación evolutivos cuando las integramos en la línea o líneas de las que han salido. Son las *madres* de las que surgen los fila, las que dan lugar a un determinado tipo morfológico o idiomorfo al abrirse paso la especialización.

La línea que se compromete en una vía determinada no puede salir de ella; todo lo más, se singulariza a través de una especialización suplementaria.

Las líneas laterales no crean en realidad nada verdaderamente nuevo. Son como masas celulares que en el transcurso de la ontogénesis (tras haber sufrido la influencia de un factor

organizador) tan sólo pueden formar el órgano para el que han sido preparadas.

Las formas madre corresponden al tronco o eje de los árboles genealógicos, concebidos al modo clásico. Disponen del potencial creador necesario y son comparables a un rizoma del que de trecho en trecho surgen nuevos tallos.

La evolución creadora tiene su origen en las formas madre; en su ausencia, nunca aparecen nuevos tipos de organización.

Por ejemplo, los Reptiles (poco importa que los *Diadectes* sean Reptiles o Anfibios) proceden de Anfibios estegocéfalos, arcaicos, de tipo seymourioriamorfo no especializado.

Por su historia, los Mamíferos nos han mostrado ya que tienen por antepasados a Reptiles muy arcaicos, los Captorhinomorfos, próximos a parte del tronco del que han salido, más o menos simultáneamente a ellos, todos los órdenes de los Reptiles.

En breve, las formas madre dan origen a ramas que corresponden cada una de ellas a un subfilum, y sobre las que se insertan ramas de segundo e incluso de tercer orden.

Los Insectívoros, los Quirópteros y los Primates han nacido del mismo «almacén» de Mamíferos primitivos, hacia finales del Cretácico o principios del Paleoceno. Posteriormente se separaron de un mismo tronco los Társidos, los Lémures, los Simios y probablemente los Homínidos. Seguramente no existan lazos filéticos directos entre los tres primeros subórdenes, y es nuestra opinión (que es, desde luego, personal) que la derivación directa de los homínidos a partir del tronco común a todos los Primates tiene más probabilidades de ser cierta que la filiación a partir de la línea de los Simios.

La imagen de la gran evolución no es exactamente la de un árbol, sino más bien la de un tallo bastante breve en el que cada nudo emite un verticilo de ramas laterales y desiguales (véase fig. 5).

Las más poderosas corresponden a las clases y dan lugar a ramitas secundarias (órdenes), terciarias (subórdenes) y cuaternarias (superfamilias y familias). Las hojas son las especies.

Las formas pancrónicas y los altos en la evolución

En algunos casos la evolución transcurre a un ritmo tan lento

que puede decirse que se detiene. Muchas especies no han evolucionado prácticamente desde sus aparición, y son las supervivientes de grupos extinguidos. Se las llama *reliquias*. He aquí algunos ejemplos clásicos:

Lingula y *Crania*, Braquiópodos del Ordoviciense y el Carbonífero, existen en los mares actuales.

Los Moluscos monoplacóforos vivieron en el Cámbrico-Silúrico; desde hace poco tiempo conocemos dos especies del género *Neopilina* que viven, una en el fondo del Pacífico (a
3500
metros), al oeste de Méjico, y la otra a mucha mayor profundidad, entre los
5600
y los
6300
metros.

Los Moluscos Gasterópodos son ricos en géneros de gran antigüedad: *Viviparus* (nuestro paludina**(e14)**) ha dejado conchas en los sedimentos del Carbonífero inferior; los *Potamides*, en los del Pérmico; los *Valvata* han aparecido en el Jurásico medio, Trochus (y otros géneros cercanos) en el Silúrico, *Fissurella* y *Pleurotomaria* en el Jurásico… Los Lamelibranquios cuentan en sus filas con numerosos géneros reliquias: *Nucula* (Devónico), *Leda* (Silúrico), *Arca* (Trías), *Limopsis* (Trías), *Modiola* (Devónico), *Lithodomus* (Carbonífero), *Mytilus* (Trías medio), *Pinna* (Trías medio), *Avicula* (Devónico), *Chlamys* (Trías), *Spondylus* (Pérmico), *Anomia* (Jurásico), *Astarte* (Trías medio), *Isocardia* (Jurásico), *Cardium* (Trías), *Teredo* (Jurásico), etc.

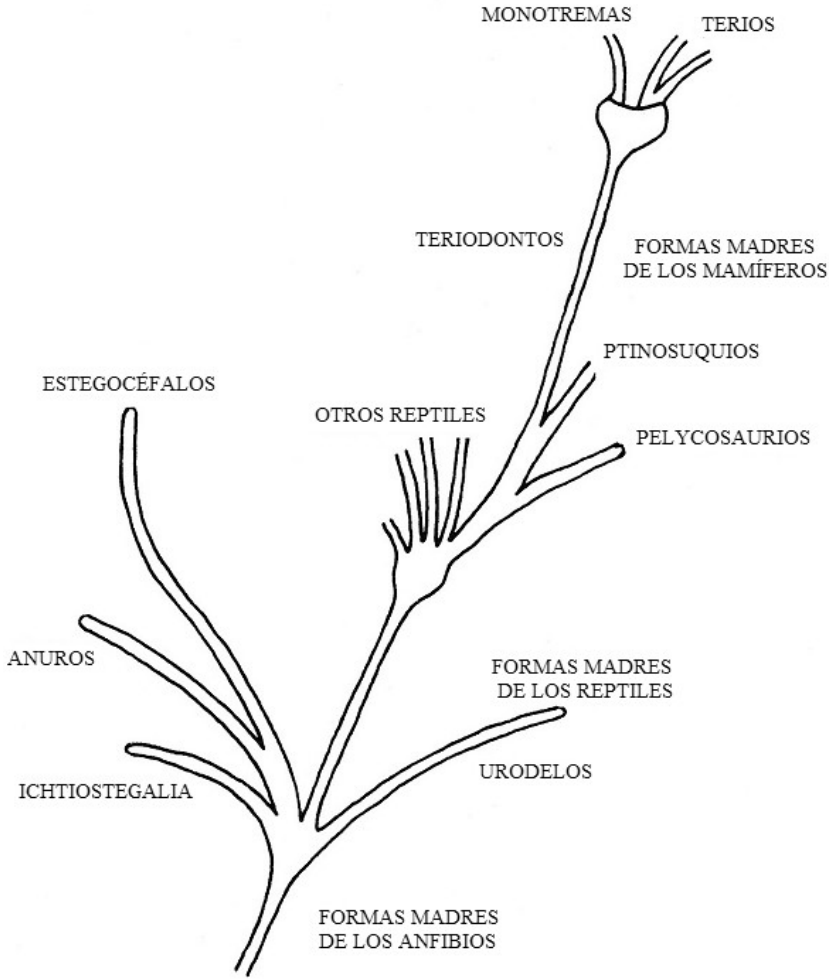


Fig. 5. Filiación de Anfibios, Reptiles y Mamíferos; ejemplo de árbol genealógico con verticilos y ramas evolutivas. Las formas madre de los Anfibios son Peces Crosopterigios Rhipidistios no especializados; las formas madres de los Reptiles, los Estegocéfalos Seymouriamorfos, los Captorhinomorfos, las formas tronco de los Mamíferos, de los Pelicosaurios y los Teriodontos.

Varios ejemplos de *Nautilus* hicieron su aparición desde el Cámbrico superior; las únicas formas reliquia actuales, los *Nautilus* (tres especies), se emparentan directamente con los Nautílidos, cuyos representantes más antiguos se remontan al Mississipiense

(320 millones de años); las conchas de *Nautilus* «sensu stricto», han aparecido en depósitos del Eoceno.

Los Crustáceos Sincáridos, conocidos en estado fósil desde el Carbonífero al Pérmico, tienen varios géneros (*Koonunga, Anaspides, Paranaspides, Micraspides, Bathynella* y otros) que viven en las aguas subterráneas del mundo entero, a excepción de las de América del Norte.

Entre los Insectos, los Odonatos, *Epiophlebia superstes* (Japón) y *E. laidlawi* (Himalaya) son los supervivientes de los Anisozigópteros que fueron abundantes desde el Trias al Lias.

Tricholepidion gertschi, un Tisanuro que vive en los bosques de California septentrional, vestigio del bosque mesofítico del Terciario, es la única especie actual que han dejado a su paso los Tisanuros lepidotriquínidos, incluidos en el ámbar del Báltico. *Mastotermes darwiniensis*, del norte de Australia, es el único representante vivo de los Mastotermítidos, que, en el Eoceno, llegaban hasta Europa.

Entre los Peces abundan las reliquias. El celacanto, del que hemos hablado ya anteriormente, habita el Océano Índico entre 150 y 800 metros de profundidad, a lo largo de las Islas Comores; es igual hasta el menor de los detalles al *Coelacanthus* cuyos esqueletos yacen en sedimentos carboníferos (Ohio, Escocia, Inglaterra), Pérmicos (Europa) y del Triásico inferior (Madagascar). Todo hace suponer que *Latimeria* no ha evolucionado en lo más mínimo ¡desde hace 200 millones de años!

Se han encontrado fosilizados restos de varios Peces Selacios de nuestros días en sedimentos del Jurásico superior (*Pristiurus*, por ejemplo), del Cretácico (*Sphyrna*), del Eoceno (*Raja, Squalus*). Desde aquellos tiempos, esos peces no han cambiado un ápice. La familia de las Quimeras (peces Holocéfalos), existía ya en el Jurásico (Kimmeridgiense de Baviera, Bathoniense).

El Sphenodon (*Sphenodon punctatus*) o hatteria**(e15)**, localizado hoy en las pequeñas islas del Estrecho de Cook (Nueva Zelanda) es el único reptil rincocéfalo (Trías, apogeo en el Jurásico) que ha sobrevivido.

Entre los Mamíferos existen también reliquias, a la cabeza de las cuales se encuentran sin duda los oposum**(e16)** o zarigüeyas

(*Didelphis*), muy cercanos, excepción hecha de algunos detalles dentarios y óseos de menor cuantía, al *Eodelphis* del Cretácico superior (Alberta, Canadá)
(60-70
millones de años). Los Hiracoideos no han cambiado prácticamente desde el Oligoceno inferior: los *Sagatherium* y el *Pachyhyrax* encontrados en los yacimientos de Fayoum (Egipto) están próximos a los *Procavia* africanos. Los insectívoros del género *Sorex* existen desde el Oligoceno inferior.

Esta lista constituye tan sólo una pequeña muestra extraída de la hueste de animales reliquias que han sido descritos (véase JEANNEL, 1944, DELAMARE y BOTOSANÉANU, 1970).

Las especies pancrónicas suscitan varias preguntas. ¿Qué causas han puesto un freno a su evolución hasta el punto de hacerla nula? Dar respuesta resulta mucho más difícil, puesto que las especies pancrónicas se dividen en dos grupos distintos:

— Uno de estructura generalizada, próximo al tronco original. Ejemplo: la zarigüeña, los peces selacios, que no adoptan ni un hábitat ni un modo de vida determinado.

— El otro de estructura mixta, semiarcaica, semiespecializada. Ejemplo, el *Anfioxus*, el Celacanto, el Tarsio, el *Orycteropus*… Tienen todos un hábitat o un modo de vida muy especializados.

Ignoramos las razones por las que tantos escualos (algunos desde hace más de 100 millones de años) y los oposum (*Didelphis*) (desde hace 70 millones de años), se muestran tan perfectamente estables. Y sin embargo, los oposum, que viven en medios tan diferentes como el bosque húmedo, la sabana, las zonas subdesérticas, los alrededores de las ciudades, etc., están sometidos a condiciones favorables, al menos teóricamente, para que se produzca su evolución. Algunas de sus especies, *Didelphis virginiana*, de América del Norte, y *D. azarae*, de América del Sur, están en plena expansión y mutan sin traba alguna. Para ser reliquias, parecen encontrarse muy bien, y se niegan a evolucionar.

Algunas especies pancrónicas no se mantienen más que gracias a las condiciones favorables que encuentran en raros nichos ecológicos, que constituyen para ellas auténticos asilos. Los islotes del Estrecho de Cook (Nueva Zelanda), donde viven los últimos

hatteria (*Sphenodon punctatus*) son el asilo en el que la especie encuentra el medio adecuado a sus particularidades fisiológicas: metabolismo muy bajo, crecimiento muy lento (duración media 50 años), maduración sexual alcanzada alrededor del vigésimo año, longevidad evaluada en cerca de un centenar de años (DAWBIN, 1962).

Que la especialización detenga la evolución parece ser probable en muchos casos: *Anfioxus*, que ofrece en toda su pureza el plan arquitectónico del Cordado y prefigura al vertebrado, vive hundido en la arena del fondo de los mares, no dejando al descubierto más que su extremo anterior, faríngeo o branquial, que es una red de captura de plancton. La microfagia (alimentación basada en animalillos, bacterias, algas o minúsculos restos orgánicos que flotan en las aguas), exige la posesión de complejos dispositivos filtrantes. El más grande y especializado es el de los Cetáceos misticetos, producto de una evolución sumamente refinada.

Orycteropus, Mamífero de estructura muy arcaica, está relacionado con los Condilartros, que vivieron desde el Paleoceno al Eoceno. Se nutre exclusivamente de termitas; su dentadura reducida es de un tipo aberrante (*tubulidonto*); los Insectos se adhieren a su lengua merced a una saliva viscosa segregada en abundancia por enormes glándulas salivares; sus patas dotadas de garras y su morro, le permiten cavar muy rápida y eficazmente. El resto del cuerpo sigue siendo arcaico y simple, como si la especialización del animal le hubiera anclado a su estructura arquetípica.

Los tarsios, entre los primates, adoptaron muy tempranamente en el curso de su historia las costumbres arborícolas, un régimen alimentario insectívoro y una actividad nocturna. Este modo de vida va acompañado de una hipertrofia de los ojos, hasta el punto que una órbita ocular alcanza por sí misma el volumen de la totalidad de la caja craneana. Los dedos, alargados y muy delgados, exploran las hendiduras de la corteza de los árboles y atrapan los insectos. A la adaptación a la visión nocturna y el régimen insectívoro se añade otra, la de arborícola saltador: las patas posteriores, mucho más fuertes que las anteriores, tienen el tarso desmesuradamente alargado. Grandemente especializados, los tarsios se han escindido en tres especies y 12 subespecies, separadas entre sí por pequeñas diferencias, lo que muestra que la

«especiación» no es sinónimo de evolución creadora.

La persistencia de la evolución

La antigüedad de un grupo no implica en modo alguno la detención de su evolución. La mejor prueba de ello la encontramos en los Equinodermos.

Aparecieron muy tempranamente y algunos —los Cistoideos son conocidos desde el Cámbrico en forma de fósiles— alcanzaron su apogeo en el Ordoviciense y se extinguieron en el Devónico. Los Blastoideos vivieron desde el Ordoviciense al Pérmico, los Edrioasteroideos del Cámbrico al Carbonífero. Ambas clases están hoy extinguidas.

Los Crinoideos, cuyos representantes más antiguos se remontan al Ordoviciense inferior, tienen todavía representantes miembros todos ellos de la subclase Articulata del Triásico.

Los Asteroideos, tan antiguos como los Crinoideos, están todavía ampliamente representados en todos los mares, pero su evolución ha sido muy lenta. El género *Astropecten*, fosilizado en los sedimentos del Jurásico (Bajociense), sigue siendo común en los océanos actuales; lo mismo ocurre con el género *Echinaster*, que data del Cretácico. Numerosas Asterias actuales parecen ser de origen reciente.

La historia de los Equinoideos nos es particularmente bien conocida; se inicia en el Ordoviciense y continúa a velocidad variable hasta nuestros días. Los Cidáridos aparecen en el Trías superior, pero no faltan géneros relativamente recientes (Eoceno). Algunas familias: Strongylocéntricos y Echinométridos entre los regulares; y Spatángidos y Lovénidos… entre los irregulares, son en su mayoría miocénicas.

Son conocidos en estado fósil un gran número de géneros actuales. Algunos de ellos son: *Schizaster* (Eoceno), *Parabrissus* (Eoceno), *Spatangus* (Eoceno), *Brissus* (Eoceno), *Hemiaster* (Aptiense), *Cassidulus* (Senoniense), *Oligopodia* (Eoceno), *Echinocyamus* (Senoniense), *Laganum* (Eoceno), *Dendraster* (Plioceno), *Echinolampas* (Eoceno), *Clypeaster* (Eoceno), *Astriclypeus* (Mioceno), *Rotula* (Plioceno superior), *Stereocidaris* (Cretácico), *Coelopleurus* (Eoceno), *Microcyphus* (Mioceno),

Erbechinus (Plioceno), *Sphaerechinus* (Plioceno), *Echinus* (Plioceno), *Psammechinus* (Neocomiense), *Parasalenia* (Mioceno) …

En suma, el filum de los Equinodermos, profundamente dividido en ocho clases (Cistoideos, Blastoideos, Edriasteroideos, Crinoideos, Holoturioideos, Asterioideos, Ofiuroideos, Equinoideos), perdió en el pasado tres líneas, pero no ha dejado en ningún momento de estar presente en todos los mares. Al apogeo de los Cistoideos le sucedió el de los Blastoideos, y posteriormente vino el de los Crinoideos. Los Equinoideos y los Asteroideos conocieron la misma suerte desde el Ordoviciense hasta nuestros días; en cuanto a los Holoturioideos, cuyo fósil más antiguo ha sido encontrado en sedimentos del Devónico inferior, no presentan ningún síntoma de envejecimiento. Así, a pesar de su antigüedad, los Equinodermos han evolucionado constantemente a un ritmo, que ha variado según la clase y el momento, hasta una época relativamente reciente.

La existencia de formas reliquia, es decir, de formas que no han cambiado desde tiempos muy lejanos y que son supervivientes de un tipo extinguido, es tan sólo un caso particular de detención de la evolución, fenómeno al que se debe la persistencia de tipos inferiores. Las Bacterias, Protozoos, Esponjas, Cnidarios (hidras, medusas, corales), abundan hoy en día al igual que en el lejano pasado, y sufriendo siempre mutaciones.

Los Protozoos actuales, considerados en su conjunto, difieren, pero no gran cosa, de los de «ayer». Recuerdan grandemente a sus antepasados que flotaban en los océanos del Paleozoico. Sus clases, órdenes y familias están aureolados por una gran antigüedad. En cualquier caso, en su seno, la evolución ha sido extremadamente diversificadora. Sin salirnos del terreno unicelular, los géneros de Radiolarios y Foraminíferos han ido en aumento. Estos últimos, muy abundantes en nuestros tiempos, conocieron su momento de gloria en los mares terciarios, hasta el punto de llegar a ser los fósiles característicos de los sedimentos marinos y de que los geólogos den su nombre a la época de su máxima extensión, el Nummulítico (*Nummulites, s. l.*, Foraminíferos de esqueleto complejo que hacen su aparición en el Jurásico, representado en nuestros días por varios géneros).

Resulta prácticamente inútil decir que los Protozoos han sufrido

pérdidas en el transcurso de su evolución; lo atestiguan varios grupos hoy extinguidos, como los Archaeomonadidos entre los Crisomonadidos, los Valacértidos entre los Silicoflagelados, varias familias de Dinoflagelados, los Ebriedinos (a excepción de los géneros *Ebria* y *Hermesinum*), y diversas familias de Foraminíferos.

Los Radiolarios han aparecido en forma fósil en los sedimentos Precámbricos de Australia. Los dos grandes grupos de Sfereláridos y Naseláridos existían ya en el Paleozoico, en formas meridianamente distintas a las actuales. La evolución de algunas líneas es conocida con cierta precisión y se ha extendido hasta el Terciario.

El filum Espongiarios, surgido en el Precámbrico, ha evolucionado poco a partir de la Era Primaria. MORET (1952), excelente conocedor de las especies fósiles, ha escrito: «En cuanto a los fenómenos evolutivos, están prácticamente ausentes en los Espongiarios», que presentan «una notoria incapacidad de transformación con el transcurso de las eras» (podría decirse que desafían de continuo a la evolución). Valoremos: los más complejos, en lo referente al esqueleto y la disposición de las cámaras filtrantes, los Hexactinélidos, tenían representantes desde el Silúrico, las Lyssacinas, cuya organización recuerda mucho a la de las especies actuales. A pesar de su antigüedad, los Espongiarios están presentes en todas las faunas, en todas las aguas, desde el litoral a la zona abisal.

Los Braquiópodos configuran un tipo, o subtipo, cuya evolución, si bien no ha alcanzado nunca una gran amplitud, ha engendrado varias superfamilias que han ido predominando sucesivamente. Es un grupo en decadencia; se han enumerado

géneros fósiles (y, sin duda, ha comprendido un mayor número). Su historia es compleja; al parecer ha atravesado dos momentos de apogeo, uno de ellos en el Paleozoico (Ordoviciense-Devónico) y el otro más recientemente, en el Secundario. Hoy, con sus 68 géneros, entre los que se cuentan algunas venerables reliquias (*Lingula, Crania*…) ocupa un lugar modesto en la vida de los océanos. Su evolución se ha limitado a pequeños detalles, sin alterar para nada su plan de organización.

Los Colémbolos, un orden de Insectos, ofrecen un magnífico ejemplo de lo que puede ser un grupo muy antiguo en la naturaleza

actual. Estaban muy individualizados ya desde el Devónico (véase el caso de *Rhyniella praecursor*); atraviesan actualmente un período de gran prosperidad y colonizan la mayoría de los medios, en particular los húmedos; tierra, humus de los bosques, suelos suspendidos, cortezas de árboles, márgenes de aguas, altas montañas, sustancias vegetales en decomposición, vegetales vivos, grutas, termiteras… Los especialistas estiman que existen ¡unas 10 000 especies de Colémbolos!

Pero a esta exuberante producción de especies se opone la extremada monotonía de los planes de organización, ya que sólo se conocen dos subórdenes, Arthropleona y Symphypleona. Los géneros y las especies se distinguen entre sí por minúsculos detalles, sólo perceptibles por medio del microscopio; pero la uniformidad de los planes de organización no se opone en lo más mínimo a la diversidad genética y específica. Los Infusorios, los Coleópteros, las Aves, por citar tan sólo animales muy diferentes nos ofrecen también buenos ejemplos en este sentido.

Los Colémbolos, a pesar de su antigüedad, dan prueba de una adaptabilidad, tanto morfológica como fisiológica, que se traduce en una intensa producción de ecomorfosis, de las que varias han sido minuciosamente estudiadas por CASSAGNEAU. No hay que olvidar las variaciones aparecidas en plantas que son transportadas de un medio a otro, que son también muy ricas en mutaciones que parecen ser el origen de pequeñas subespecies descritas por los sistemáticos y que recuerdan a los «jordanons» (equivalentes de los mutantes) de *Erophila*.

¿No nos autoriza acaso esta doble constatación a llegar a la conclusión de que ni la mutación existe, ni la plasticidad de las formas altera la estabilidad del orden?

La evolución actual se limita a la especiación

La evolución de todos los grupos zoológicos, tras un período de gran productividad, se ha vuelto más lenta y se limita hoy en día a engendrar nuevas especies. En nuestra opinión, no parece mostrar una mayor amplitud en las plantas. Las fases creativas terminaron hace ya tiempo, a excepción de los órdenes de Aves y Mamíferos, que se individualizaron a principios de la Era Terciaria y se

especializaron a lo largo de ese período; no obstante, también estos órdenes se han visto limitados hoy a la especiación.

Los Invertebrados, todos ellos de gran antigüedad, no han modificado su plan de organización desde hace mucho tiempo. La fauna entomológica de las resinas fósiles y en especial, del ámbar del Báltico (Oligoceno, es decir, de hace alrededor de

millones de años) difiere escasamente de la fauna actual, y puede encontrarse una equivalente en los climas tropicales o subtropicales. Las observaciones realizadas por MELLE KELNER (1969) sobre las abejas del ámbar, nos muestran una de las evoluciones de mayor alcance sufridas por los Insectos en los últimos 30 millones de años. Estos Himenópteros tienen piezas bucales cortas, brochas de polen poco extensas y poco tupidas. Dejando a un lado estas particularidades, están muy próximos en realidad a nuestras especies de *Apis*.

Tenemos prácticamente la certidumbre de que actualmente sólo apreciamos, en lo que a la evolución se refiere, episodios de la génesis de algunas especies nuevas.

No obstante, existen aún numerosos grupos entre las Esponjas, los Hidroideos, los Platelmintos, los Anélidos poliquetos, los Moluscos poliplacóforos, los Peces Selacios, los Urodelos, diversos Mamíferos (Didélfidos, Sorícidos, Tupaiidos…) de los que cabría esperar más; encarnan tipos arcaicos, cuya anatomía es de tipo poco diferenciado, por lo que podrían dar lugar a líneas que se comprometieran a una mayor especialización. Entre los Mamíferos, tenemos dos familias de Insectívoros: los Sorícidos y los Tupaiidos. Por ejemplo, las musarañas (Sorícidos) parecen haberse quedado cerca del tronco original de los Insectívoros; ya desde el Eoceno medio estaban presentes en la Europa occidental bajo la forma del género *Saturnina*, y en el Oligoceno inferior en América del Norte, estaban representados por *Domnina*, que tiene semejanza con *Sorex* y *Blarina*. Estamos convencidos de que la evolución de las musarañas, desde hace ya mucho tiempo, ha sido débil y de poco alcance, y no ha ido más allá de la formación de especies, poco diferentes al tronco original. Esta constatación no parece augurar un brillante porvenir evolutivo a los Sorícidos.

Los Tupaiidos, equivocadamente clasificados entre los

Primates(8), son Insectívoros mitad arborícolas, mitad terrestres que, con razón, se considera que están estancados en un estado arcaico. Son conocidos en estado fósil gracias al género *Anagale* (Oligoceno inferior de Mongolia), que es poco más arcaico que los tupaia. El género *Tupaia* cuenta con varias especies y subespecies en Indonesia (incluyendo las Islas Célebes). Aparentemente, podría evolucionar aún en diversas direcciones.

Entre los marsupiales americanos, algunos géneros han escapado a toda especialización; así, tenemos las zarigüeyas y los Cenoléstidos, *Marmosa, Metachirops y Monodelphis*, que, aunque arborícolas, aparentemente carecen de peculiaridades anatómicas vinculadas a su modo de vida.

A pesar de que su estructura es primitiva y de tipo muy poco diferenciado, permanecen inmutables, sin tender hacia una forma diferente.

Los Monotremas, a pesar de sus caracteres muy arcaicos, están tan especializados que parece imposible que puedan dar nacimiento a grandes novedades. Entre los Mamíferos Euterios menos modificados están los Úrsidos, cuya dentadura tiene una estructura sectorial atenuada que se adecúa a un régimen alimenticio omnívoro, pero su evolución parece estar muy frenada. Aunque no haya podido precisarse su origen, sabemos que con el género *Ursavus* estaban ya bien delineados en el Burdgaliense-Pontiense, aun siendo todavía de pequeño tamaño, y que al comienzo del Plioceno, el género *Ursus* estaba ya individualizado y contaba con multitud de especies, muchas de las cuales se han extinguido; el gran oso de las cavernas (*Ursus spelaeus*) no desapareció hasta el Magdaleniense, tras haber sido objeto de culto de los hombres de Neanderthal. Por lo tanto, no hay nada que nos autorice a atribuir a los Úrsidos grandes posibilidades evolutivas.

El caso de los verdaderos Roedores (Glires)(9), es diferente. Incluso con la ayuda de la paleontología nos es difícil discernir las vicisitudes evolutivas que han recorrido este orden, y las afinidades entre sus familias son poco conocidas. Varios mastozoólogos han afirmado, sin prueba alguna, que algunas familias de Glires estaban «en plena evolución», en especial la de los Ratidos(10). Este orden es, de entre todos los mamíferos, el más rico en géneros y especies,

y algunos de aquéllos cuentan en su seno con decenas de especies (*Microtus* 90, *Rattus* 270). La especiación parece haber actuado ampliamente en él y recientes estudios realizados sobre la sistemática y las dotaciones cromosómicas de los *Microtus*, las *Peromyscus* norteamericanos, y los ratones africanos del género *Leggada* inducen a pensar que sigue actuando, si bien débilmente. No podemos dejar de señalar que las especies cosmopolitas, *Rattus rattus, Rattus norvegicus, Mus musculus*, productoras de mutaciones muy numerosas, gozan de una gran estabilidad, aunque vivan en medios que varían de una ciudad o región a otra, o sea, en condiciones teóricamente ideales para favorecer una evolución rápida y variada.

Es posible que algunos Roedores de Madagascar (Nesomynae, subfamilia cuya homogeneidad ha sido puesta en duda), de Nueva Guinea (*Mayermys, Crossomys, Microhidromys*…), y de Australia (*Hydromys*) sean de origen relativamente reciente, y que se estén formando aún nuevas especies en esas grandes islas.

Un examen crítico de los grupos zoológicos que incluyen especies fósiles y actuales, pone al descubierto que la mayor parte de ellos permanecen estacionarios desde hace mucho tiempo en la forma en que los conocemos y que los demás, aun siendo de origen menos venerable, atraviesan un período de reposo. Todos ellos se han estabilizado hace tiempo, entre 400 y 10 millones de años, con variaciones casi inapreciables.

A un biólogo le resulta difícil decidirse a admitir que, por su constitución íntima, los seres actuales no difieran de algún modo de los del pasado. Parecería, incluso en una primera aproximación, que semejante afirmación implica algo contrario al espíritu científico. Pero los hechos son los hechos; por una parte, no ha aparecido ningún plan de organización desde hace varios centenares de millones de años, y desde tiempos tan lejanos, numerosas especies tanto animales como vegetales han dejado de evolucionar.

Hemos dicho que la evolución es difícil, incluso muy difícil de percibir hoy en día. Algunos biólogos pretenden verla y describirla en acción; pero lo que describen o es insignificante, o carece de relación con ella.

En el mejor de los casos, los hechos evolutivos actuales se limitan a producir ligeros cambios de genotipo en el seno de las

problaciones, la sustitución de un alelo por otro. Por ejemplo, el mutante *carbonaria* de la *Biston betularia*, o geómetra del abedul, reemplaza a la mariposa normal en los distritos industriales (HALDANE, 1956, FORD, 1971). Se cita el neoendemismo, de localización muy restringida, de los Moluscos pulmonados del género *Achatinella* en las islas Hawai (WELCH, 1938), del género *Partula* en Polinesia (CRAMPTON, 1916, 1925, 1932; BAILEY, 1956; MURRAY y CLARKE, 1966). Las minúsculas «especies» (jordanons o equivalentes de mutantes) del panadizo común, *Erophila verna*, una Crucífera, son hasta tal punto mutantes, que se excluyen los unos a los otros según la localidad. Al constatar su estabilidad, JORDAN (1864), podía argumentar que la «desintegración» de la especie en subunidades no puede confundirse con un movimiento evolutivo; en esto tiene razón, ya que los «jordanons» no varían y no se suceden en el tiempo siguiendo una dirección preferente. Por otra parte, la especie linneana *Erophila verna* conserva aún su unidad y su validez a pesar de algunas pequeñas variedades bajo las cuales se presenta. Pero JORDAN se equivocaba al concluir de la estabilidad de los «jordanons» la inexistencia de la evolución. Extraía de los hechos observados unas enseñanzas que éstos no implicaban.

Las pequeñas diferenciaciones dentro de una especie, consecuencia posible del ajuste del genotipo a las circunstancias locales o de otro orden, no traspasan los límites de la especie; modulan la estructura y las funciones de ésta con arreglo a «fines» adaptativos.

El caso de la especie humana merece, en este contexto, una especial atención.

El hombre es uno de los animales terrestres más cosmopolitas; vive en cualquier clima. Ha experimentado mutaciones que se cifran en varios miles de tipos, a juzgar por el número de alelos cuya presencia ha sido detectada en las diferentes poblaciones humanas, que reúnen actualmente a

3200

millones de individuos cuyos genotipos son todos distintos (excepción hecha de los gemelos univitelinos). La reserva de mutantes está, por consiguiente, ampliamente abastecida. ¿Y qué ocurre? Nada importante ni apreciable. La última peculiaridad anatómica adquirida por el hombre fue el mentón (hace

30 ó
40 000
años, y probablemente más, si tomamos en cuenta a los *Praesapiens*).

En un reciente artículo, VALLOIS (1972), realizaba un balance de las razas del Paleolítico superior europeo. De tales investigaciones resulta que tan sólo existen dos razas, una la de Cro-Magnon, cuyos esqueletos epónimos datan del Auriñacense, y la de Chancelade, cuyo esqueleto epónimo data del Magdaleniense. Pero esas dos razas bastante bien caracterizadas son muy similares a los Europoideos actuales. Así pues, desde el Auriñacense hasta nuestros días, los hombres que han poblado Europa occidental han cambiado, a lo sumo, en algunos detalles ínfimos de su anatomía, y esto en un grado variable. No han sufrido *ninguna* variación de cierto alcance. VALLOIS, refiriéndose al esqueleto objeto de su artículo, escribe que «se integra a la perfección en el tipo Cro-Magnoide, que es el de la práctica totalidad de los Magdalenienses franceses y constituye el resultado de una modificación progresiva de los Cro-Magnones clásicos de épocas anteriores». Resulta verosímil que los Europoideos actuales sean producto de las dos razas, Cro-Magnon y Chancelade, del Paleolítico superior.

Las mutaciones diferencian a los individuos, y lo hacen bien, pero la especie humana, a pesar de las favorables condiciones que ofrecen sus poblaciones y la diversidad de sus hábitats a la evolución, se muestra anatómica y fisiológicamente estable en la naturaleza de hoy en día.

Si en las ricas sociedades occidentales la selección natural se ve contrarrestada por la medicina, la higiene y la abundancia de alimentos, no ocurrió así en el pasado. Aún en nuestros días, en los países subdesarrollados, en los que la natalidad y la mortalidad son igualmente elevadas (África tropical, Amazonia, Pakistán, India, Patagonia, algunas islas de Polinesia…), la selección natural opera sin oposición alguna y, sin embargo, el tipo humano no varía en absoluto. En el Yucatán, cuya población ha padecido desde la Conquista española las peores vicisitudes, encontramos hombres y mujeres mayas que son fieles reproducciones de los retratos de sus antepasados precolombinos de Palenque o Chichén Itzá. Los chinos se cuentan por centenares de millones, y esto ha sido así durante

milenios; en todos los tiempos se han visto sometidos, a causa de su medio físico y social, a una severa selección. ¿Qué resultado ha tenido? Ninguno. Siguen siendo chinos, y eso es todo. En toda población, los hombres difieren entre sí por su genotipo, y sin embargo la especie *Homo sapiens* no varía ni en su plan ni en su estructura ni en sus funciones… Sobre un fondo común se dibujan una infinidad de florituras diversificadoras, pero carentes de valor evolutivo.

Más importantes resultan las variaciones sufridas por algunos animales al penetrar en islas, tales como los Passeriformes Drepanididos de Hawai, los *Geospizini* de las Islas Galápagos, los Vangidos de Madagascar, o las palomas de Polinesia. O también al ocupar los lagos, como en el caso de las Esponjas, las Planarias (90 especies), los Anfípodos gamáridos (239 especies) del Baikal y los Peces del género *Haplochromis* de Nyasa (alrededor de 100 especies)… Las formas originales se escinden en nuevas especies, en subespecies, de las cuales algunas merecen la creación de nuevos géneros, y adoptan un nicho ecológico que les es peculiar.

En los biotopos cerrados la *modulación genotípica* es más amplia que en las poblaciones que viven en vastos espacios abiertos, y sobrepasa ampliamente la de la *Biston betularia* en los distritos industriales, pero en ningún momento desborda los límites de la «microevolución», se limita a ajustar el genotipo a un determinado nicho ecológico. Según los darwinistas, las especies mal equipadas para la competencia subsisten y evolucionan por ser la selección menos severa en su caso. La depredación, sobre todo, sería escasa o incluso nula. Las palomas y los *Rallus*, ápteros y poco fecundos, que poblaban las islas del Océanos Índico antes de la penetración del hombre en ellas, no han sido capaces de resistir la caza a la que se vieron sometidos por parte de éste, de sus animales domésticos (perros, gatos) y sus comensales (ratas…).

Lo que aquí hemos afirmado acerca de los medios cerrados no es, por supuesto, dogma de fe, y no debe generalizarse. Así, cuando consideramos la fauna del Baikal en su conjunto, nos damos cuenta de que de las 842 especies que viven en sus aguas profundas, 708 son endémicas, mientras que las aguas litorales no albergan más que una fauna banal compuesta por 400 especies (sin contar los Coleópteros, Hemípteros, Colémbolos, etc…). El Baikal no tiene

ningún pez propio, excepción hecha de los Cottidos (Cotos) que cuentan con 23 especies endémicas y 2 ubicuas que habitan sus aguas litorales; los Lamelibranquios, con 12 especies, sólo cuentan con 3 endémicas, y viven todas en la zona profunda no litoral. La incapacidad de algunos géneros para diversificarse no está explicada. El Baikal, por la enormidad de su tamaño,
31 500
km2, es más un Mar interior que un lago, y es por esto por lo que no puede ser considerado equivalente a un pequeño medio en el que la competencia interespecífica es débil.

Si bien es cierto que, en los medios cerrados la presión de selección interespecífica es baja, otro tanto podía decirse de la que ejercen los miembros de una misma especie entre sí. Nada hay menos seguro. La limitación del espacio y el alimento son dos factores que ponen freno al crecimiento demográfico, y como consecuencia, hacen más severa la lucha por la supervivencia. Una situación que a primera vista parece sencilla resulta ser compleja al someterla a examen.

Si en los medios abiertos la selección natural es más intensa, debe oponerse también con mayor eficacia a la variación de las poblaciones que los habitan favoreciendo un único genotipo. Desempeña un papel conservador, no uno innovador. Las mutaciones que se apartan del tipo salvaje dominante, o del genotipo privilegiado, son eliminadas. De ahí la estabilidad de las especies.

Las especies pancrónicas que, como las demás, sufren el asalto de las mutaciones, permanecen invariables. Sus variantes son eliminadas, a excepción de los posibles mutantes neutros. En cualquier caso su estabilidad no es más que la constatación de un hecho, y no una especulación teórica.

Las Bacterias, cuyo estudio ha proporcionado a la genética una buena parte de sus fundamentos, al igual que a la biología molecular contemporánea, son organismos que por la inmensidad de sus números, presentan multitud de mutantes. También sus especies se ven «desintegradas» en una infinidad de variedades, que los microbiólogos denominan cepas, que salen a la luz por medio de los cultivos o de ciertos tests. Al modo de la *Erophila verna*, aunque con muchas variedades intraespecíficas, muestran una extrema

fidelidad a su especie. El colibacilo, cuyos mutantes han sido estudiados in extenso, proporciona un magnífico ejemplo de ello. Habrá que pensar entonces, con nosotros, que es al menos extraño pretender demostrar la realidad de la evolución y descubrir sus mecanismos escogiendo como materia de estudio a unos seres prácticamente estabilizados hace mil millones de años o más.

¿Qué resultado tienen sus incesantes mutaciones si no producen cambios? En suma, podemos decir que las mutaciones de las bacterias y los virus no son más que fluctuaciones hereditarias en torno a una posición media; oscilación a la derecha, oscilación a la izquierda, con un resultado evolutivo final nulo.

Entre las reliquias vivientes más venerables figuran las cucarachas, que desde el Pérmico se mantienen sobre poco más o menos estabilizadas, aunque muten tanto como cualquier insecto de la Era Terciaria como podría ser *Drosophila*.

Lo importante es observar que *las especies reliquia mutan tanto como las demás, pero no evolucionan, incluso cuando se encuentran en condiciones propicias para el cambio* (diversidad de medios, cosmopolitismo, grandes poblaciones).

¿Cómo puede adecuarse la interpretación mutacionista-darwinista de la evolución al hecho de que las especies más estables (y esto en ocasiones después de cientos de millones de años) muten tanto como las otras? Tras constatar la microvariación por un lado y por el otro la estabilidad específica, ¿cómo eludir la conclusión de que aquélla no interviene en el proceso evolutivo?

Algunos biólogos contemporáneos, en el momento en que detectan una mutación se ponen a hablar de evolución. Implícitamente, establecen este silogismo: la mutación es la única variación evolutiva; todo ser viviente sufre mutaciones; luego todo ser viviente evoluciona.

Pero este razonamiento es inaceptable porque: 1.º Su premisa no es ni evidente ni generalizable; 2.º Su conclusión está en contradicción con los hechos observados. Las mutaciones, por numerosas que sean, no provocan una evolución verdaderamente importante.

Añadamos a esto que sería en verdad demasiado objetar que las mutaciones son evolutivamente inoperantes, porque la selección natural las elimina. Las mutaciones letales (el peor de los casos)

son, en efecto, rechazadas, pero las demás pueden subsistir en calidad de alelos. La especie humana nos ofrece multitud de ejemplos: el color de los ojos, la forma de la oreja, los dermatoglifos, el color y la consistencia de los cabellos, la pigmentación de la piel… Las mutaciones están presentes en el seno de toda población, de las Bacterias al Hombre. De esto no hay duda; pero para el evolucionista, lo esencial no es eso; lo esencial es la falta de coincidencia entre las mutaciones y la evolución.

La evolución es la verdadera historia de los seres vivos

La evolución es una larga historia bajo cualquier punto de vista. La generación espontánea se produjo de una sola vez, y la vida no se reinventa; se transmite, es continuidad. Nuestras células, a pesar de lo que pudiera parecer, son hijas (a la enésima generación, pero hijas al fin y al cabo), de las del primer animal aparecido sobre la Tierra hace algo así como 800 millones de años, y este animal reproducía en parte las sustancias de las que estaba formado el primer ser vivo que flotó sobre las aguas salinas de la «Pangea».

El estudio de grupos de animales o plantas en estado fósil ha mostrado que la evolución no es el desarrollo de un proceso simple efectuado a una velocidad uniforme y que se repite a sí mismo con arreglo a un ritmo regular. Es una historia: es decir, una constelación de hechos, de fenómenos, que afectan a un conjunto de objetos cuya naturaleza, disposición y orden se modifican con el paso del tiempo, siguiendo ciertas reglas o leyes que son irreversibles.

Todo objeto, toda materia, se pliega a las leyes de la física y la química. Todo cuerpo material colocado en la vecindad de nuestro planeta se ve sometido a la atracción terrestre y, según su velocidad, se «sateliza» o cae verticalmente sobre la tierra, etc. Las leyes de la física y de la química son universales.

Sin embargo, los astros sufren, con el paso del tiempo, variaciones irreversibles: una estrella no regresa a sus estadios anteriores, la Tierra no se encuentra, ni volverá a encontrarse, en las condiciones que reinaban en su interior y en su superficie poco después de su génesis. El macrocosmos tiene su historia, que se desarrolla obedeciendo las leyes de la materia, o lo que es lo mismo, del determinismo universal. La teoría de la expansión, que

actualmente es considerada la más verosímil de las cosmogonías, explica con cierto éxito la evolución de los mundos.

La geología es la historia de la Tierra; la cosmología, la del macrocosmos. Por el contrario, la física y la química no son ciencias históricas; son ciencias de la materia cuyas leyes eternas se mantienen inmutables.

Por supuesto, la evolución del macrocosmos y la del biocosmos obedecen a mecanismos profundamente distintos y sus leyes no tienen, en apariencia, ninguna relación. ¿Pero no reflejan acaso la inestabilidad de todo lo que existe? El universo de hoy no es el universo de ayer ni el de mañana. Sin caer en el evolucionismo de Spencer, superado tanto en su forma como en sus principios, demasiado simplistas e inexactos, no nos queda más alternativa que constatar los hechos y tenerlos presentes para toda interpretación científica o filosófica del ser.

La historicidad de la evolución biológica está demostrada por la total ausencia hoy en día de fenómenos de generación espontánea de seres vivos a partir de compuestos nitrogenados y otras sustancias orgánicas dispersas o más o menos aglutinadas en el agua de mar. La génesis no se repite. La generación espontánea que nuestra lógica nos impone ha sido un fenómeno histórico por excelencia. Imposible hoy, se produjo una sola vez sobre una Tierra aún joven, o sobre algún otro planeta exterior a nuestro sistema solar, y con esto ha bastado para poner en marcha la aventura de la vida en el cosmos.

Dado que el macrocosmos evoluciona según las leyes de la física y la química, el mundo viviente recorre también su historia obedeciendo a esas mismas leyes, pero ateniéndose también a las suyas propias, que conocemos tan sólo parcialmente.

Conclusión

De acuerdo con nuestra lógica y su cortejo de hipótesis, la detención de la biogénesis es imputable al cambio de las condiciones fisicoquímicas reinantes en la Tierra, alrededor de ella o bajo ella en los mares, que se ha opuesto a la síntesis de materias prebióticas. Una vez consumidas por los primeros seres vivos las proteínas que flotaban en las aguas oceánicas, toda nueva biogénesis se hizo imposible.

Esta situación ha impuesto a sus herederos inmediatos la necesidad de poseer a la vez la facultad de reproducirse por sí mismos y la capacidad de realizar una quimiosíntesis. Su perpetuación sólo ha podido quedar asegurada por esta doble condición.

Henos aquí por tanto, atrapados en un cepo onírico y cienciaficcionesco. Volvamos no obstante a la realidad. De lo único que estamos razonablemente seguros es de que la biogénesis *no ha vuelto a producirse* (la uniformidad de los planes bacteriano y celular aporta una prueba indirecta de ello).

El pasado de los seres vivos está jalonado de fenómenos únicos, como la génesis de los fila, de las clases y de los órdenes. La evolución recorre su camino de hecho histórico en hecho histórico.

Desvelar el determinismo biológico de cada uno de estos hechos históricos es la ardua tarea que el biólogo tiene por delante. Las causas que han puesto freno a la génesis de nuevos tipos de organización son desconocidas. ¿Tal vez algún cambio en el medio terrestre? Podría ser. ¿Acaso una modificación en la constitución íntima de la célula? Apenas osamos creerlo. Resulta irrisorio pretender explicar fenómenos de tan gran complejidad en ausencia de datos y experiencias concretas. Saber que existen constituye ya de por sí un dato positivo. En cuanto a su interpretación, sólo será posible cuando conozcamos mejor la genealogía y los mecanismos fundamentales de los seres vivos.

La historia aparece ante nosotros como una sucesión de acontecimientos ligados entre sí por tal cúmulo de causas que nunca podemos tener la seguridad de conocerlas todas. Forma una estructura reticular, a cuyo estudio no podemos aplicar aún las técnicas de la cibernética por lo numeroso de sus parámetros y lo complejo de sus interrelaciones.

El fenómeno histórico humano difiere del fenómeno histórico evolutivo en que el hombre no sufre pasivamente el efecto que los medios físicos, social y económico ejercen sobre él. El hombre interviene voluntariamente en los acontecimientos y cambia su curso con mayor o menor éxito. Esto no hace sino incrementar la inextricable complejidad del determinismo de los fenómenos históricos.

En lo referente a la evolución, ésta prosigue su marcha

impasible, y ni un Alejandro ni un Napoleón podrían hacerla cambiar de dirección.

La irreversibilidad histórica obedece a: 1.º Las escasas probabilidades que existen de que puedan reunirse de nuevo los mismos objetos viéndose sometidos a las mismas condiciones físicas y químicas; 2.º A la variabilidad de las causas y sus efectos que, convirtiéndose a su vez en causa, alteran la naturaleza y el orden del conjunto. Para que se repitiera la historia sería necesario remontarse de nuevo a sus fuentes y reproducir una vez más las condiciones de los medios interior y exterior. En teoría esto es factible, en la práctica no.

En tanto que hechos históricos, todos los fenómenos evolutivos resultan irreversibles. Y de entre ellos, la génesis de los grandes planes de organización es un fenómeno llevado a término.

¿Recorre acaso el mundo de lo viviente un inmenso ciclo que tanto por el número de participantes en él como por su duración parece, a nuestra escala, infinito? Podría ser. Pero sería un ciclo distinto al de una tenia o un trematodo, cuyas etapas están predeterminadas con precisión y que, gracias a la función reproductora, se repite idéntico a sí mismo. La evolución no vuelve a comenzar nunca: el ciclo de un parásito no es un fenómeno histórico, la evolución sí lo es.

4. La evolución y el azar

Desde que el hombre empezó a intentar comprender el origen y la naturaleza del universo, filósofos, sabios y émulos, confesos o no, de Demócrito han venido sosteniendo y sostienen que la materia, no creada y eterna, ha engendrado, gracias a la incesante agitación de sus partículas, todos los astros y las cosas, y esto, de modo aleatorio. Al igual que el orden sideral, la vida ha emergido del azar: desde la más humilde bacteria hasta el más genial de los hombres son fruto de éste. En el momento de la creación, no intervino ley alguna, tan sólo la indeterminación fue soberana. La creación de lo viviente no ha estado presidida por potencia, principio superior, o designio alguno. Tampoco sus cambios, y menos aún, sus eventuales progresos.

Todo es materia y azar: no hay espíritu ni inteligencia que imponga un orden. Y aún así, sorprendente paradoja, del caos surgen las leyes que rigen los fenómenos naturales, como nos muestran la física y la química. ¿Cómo concilian Demócrito y sus discípulos contemporáneos nuestros el azar y el determinismo? Apenas conseguimos imaginarlo. ¿Acaso no existe una antinomia entre ambos?

Las loterías de lo viviente

¿Qué es pues el azar para que tanto poder se le atribuya? A menudo —si no siempre— se esconden bajo el mismo término conceptos diferentes. Es éste el caso. Por el momento, haciendo caso omiso de toda especulación filosófica, adoptemos la extensiva definición que con su precisión habitual nos ofrece LITTRÉ. El «azar excluye el orden y la intención; es el conjunto de los fenómenos, considerados independientemente de todo tipo de causa o

encadenamiento». Esta definición se aplica con exactitud a los fenómenos biológicos estimados como aleatorios por los teóricos, que estarían además desprovistos de toda vinculación a una ley definida.

Sería pues fortuito el fenómeno excepcional, incluso inexplicable, que escape a nuestras previsiones. Estos calificativos tan vagos tienen a menudo, tan sólo un valor circunstancial. Tal fenómeno, considerado hoy como aleatorio, quizás sea considerado mañana como un fenómeno predeterminado, al ser desveladas las causas que lo desencadenan por un análisis penetrante y apropiado a su naturaleza.

Así pues, el biólogo, que no tiene que indagar acerca de causas morales ni intenciones, debe asegurarse ante todo de que los hechos pretendidamente aleatorios lo sean realmente, y recordar en todo momento la célebre frase de HENRI POINCARÉ: «El azar no es más que la medida de nuestra ignorancia». (*Science et Méthode*, pág. 65).

Decir que los fenómenos biológicos están sometidos al determinismo universal es, en realidad, una perogrullada. ¿Cómo no iban a estarlo? ¿Acaso no son reducibles, en última instancia, a procesos fisicoquímicos? En este sentido nuestro pensamiento no puede pecar de equívoco, por cuanto estamos seguros de que así es.

Las propiedades fundamentales de los seres vivos dimanan de sustancias químicas que van del ión a la macromolécula más compleja, ordenadas con arreglo a una arquitectura que no tiene parangón en la materia inerte.

Aunque el azar se insinúe en lo viviente, concierne tan sólo, sin embargo, a la naturaleza, al estado físico de los materiales y a su mutuo ordenamiento, según categorías dimensionales y grados variables de complejidad dentro de un mismo plan de organización.

¿Es entonces cierto que la vida fue un fenómeno fortuito cuyas probabilidades de aparición eran extremadamente escasas? En el momento en que los bioquímicos y los físicos comienzan a estudiar los procesos por medio de los cuales podrían haberse formado las sustancias prebióticas, queda desvelada la exageración de este criterio. He aquí lo que dice OPARIN, gran conocedor del problema de la biogénesis y materialista intransigente: «Particularidad notable de los sistemas vivientes es que todo el entramado de reacciones metabólicas esté, no solamente coordinado con precisión, sino

también orientado hacia la autoconservación y la autorreproducción perpetuas del conjunto, en las condiciones impuestas por el medio exterior. Esta orientación altamente organizada que es característica de la vida no puede deberse al azar» (1967).

Sin exponer sus razones, OPARIN estima que el agente ordenador fue la selección natural, que habría actuado a modo de antiazar.

BOGDANSKI, en diversas publicaciones
(1971-72),
somete a los fenómenos vitales a análisis en función de los datos aportados por la física, la química y la biología. Constata que estos fenómenos, lejos de ser aleatorios, están estrechamente determinados, y tienen lugar «con arreglo a leyes muy complejas ocultas al observador superficial» (1972). Las manifestaciones vitales se insertan en una estrecha banda de fenómenos fisicoquímicos, fuera de la cual no existe la vida. «En términos generales podemos afirmar que las leyes de la biourgia (vida en acción) descansan sobre una estructura de prohibiciones inmanentes a cada nivel dimensional, lo que excluye toda probabilidad de azar a nivel de fenotipo». Ésta es la opinión de un biofísico, libre en principio, y muy probablemente, de toda consideración de índole filosófica.

Entonces, ¿de dónde procede el azar y cómo actúa sobre lo viviente?

La respuesta típica sería decir que, por dos veces consecutivas, el destino de todo ser pluricelular y sexuado se juega a la lotería.

La primera vez será tras la formación del óvulo o del espermatozoide, cuando el número de cromosomas queda reducido a la mitad (por falta de replicación) y los $2n$ cromosomas de la dotación específica se distribuyen al azar, pero en igual número (n), entre los dos espermatocitos de segundo orden, o entre el ovocito de segundo orden y el primer cuerpo polar: es el fenómeno de la meiosis o reducción cromosómica **[42]**.

En la célula existen dos ejemplares de cada cromosoma, uno de origen materno y otro de origen paterno, que llevan, presumiblemente, diferentes alelos de un mismo gen.

Esta lotería combina en los gametos a los cromosomas de un modo distinto a como estaban combinados en sus células madre en caso de que el genotipo fuera heterozigótico (lo que sucede casi

siempre). Si todos los cromosomas están sometidos a las mismas condiciones, tanto extrínsecas como intrínsecas, puede aplicarse el cálculo de probabilidades sin restricción alguna a su distribución cuando se separan en dos lotes que emigran a polos opuestos del uso acromático del espermatocito I o del ovocito I.

La segunda lotería de la ontogénesis tiene lugar en el momento de la *fecundación*. Los óvulos y los espermatozoides de los organismos heterozigóticos no llevan exactamente los mismos alelos de sus genes correspondientes. Su «semigenoma» varía pues, como hemos visto, en función de la primera lotería. La conjunción del óvulo y el espermatozoide reúne dos semigenomas diferentes. Las combinaciones de sus alelos (ya sea de uno o de *n* pares), se realizan según ciertas probabilidades cuyas leyes matemáticas fueron descubiertas hace más de un siglo por el monje austríaco GREGOR MENDEL. Leyes que son rigurosas en caso de que nada, ya sea exterior o forme parte de las propias células reproductoras, cree diferencias fisiológicas entre los gametos de un mismo sexo. En efecto, se conocen causas que en ocasiones perturban la ley favoreciendo a algunos gametos en detrimento de otros (fecundación selectiva); pero en circunstancias normales, la conjunción de los gametos de una misma especie obedece a las leyes probabilísticas de MENDEL.

Estas dos loterías que intervienen en la reproducción sexual mezclan los cromosomas y, de esta manera originan ordenaciones inéditas de genes. Sí, repitámoslo, las células sexuales son heterozigóticas, pero *no crean ningún carácter nuevo* [43]. Confieren a la reproducción sexual su facultad de diferenciar individuos salidos de los mismos progenitores tanto químicamente (en especial por la «personalización» de proteínas) como estructuralmente.

En otro libro [44], hemos demostrado que la probabilidad estadística concierne a fenómenos que se producen utilizando elementos cualitativamente diversos, sin dejar por ello de obedecer al determinismo. Las leyes de MENDEL nos ofrecen un ejemplo perfecto. Pero ¿debe hablarse en este sentido de azar, considerando que es posible medir las probabilidades de aparición de una combinación dada? La ley de probabilidades es una ley como cualquier otra; permite la previsión de fenómenos considerados, no

aisladamente, sino en conjuntos o series, en los cuales es todo conocido, existiendo un número finito de componentes. Nada imprevisible puede surgir de ellos.

Algo muy diferente es el verdadero azar, en el que dos series independientes de fenómenos, que tienen su propio determinismo, se encuentran, se entrecruzan (de ahí el calificativo de secantes que les he asignado), cosa que no ocurre habitualmente. Evidentemente, el determinismo no se encuentra ausente en absoluto, pero el encuentro de las series depende de circunstancias tan variadas, que resulta prácticamente imprevisible. Si el análisis del fenómeno se llevara hasta el límite, es probable que descubriéramos múltiples y sutiles causas. Este azar, que es el que gobierna la caída de una teja arrancada de un techo por el viento, que va a golpear la cabeza de un viandante, tiene como equivalente en biología el encuentro de un mutágeno químico o físico con la célula, agente que normalmente no tiene relación alguna con ella [45]. La replicación del ADN queda trastornada; produce, tras la agresión, no un facsímil exacto de éste, sino una copia errónea.

El azar secante es un accidente; por el contrario, el azar probabilístico no lo es, al estar sometido a una ley estadística simple y sencilla.

El primero se distingue del segundo por su propia naturaleza (dos o más series de fenómenos independientes que se cortan) y por el elevadísimo número de parámetros que intervienen en las susodichas series.

El azar y su instrumento. La mutación o los errores del código genético

El error de pulsación cometido por una mecanógrafa al copiar un texto sería equivalente a la mutación biológica. Según los discípulos de DEMÓCRITO, el error de copia del ADN gozaría de una fecundidad sin límite; toda novedad nacería de él. El hombre sería el producto de millones de errores, y los primeros se habrían producido hace

1000

-

1500

millones de años, cuando el ADN de ciertas esquizofitas no se reprodujo con total precisión e indujo, de esta suerte y *por puro azar*, la estructura llamada célula.

Las «desviaciones» de la célula son imprevisibles tanto en cuanto a su aparición como en cuanto a sus efectos. Y esto es tan cierto para las mutaciones espontáneas como lo es para las obtenidas en plantas o animales por medio de agentes químicos (gas mostaza, formol, ácido nitroso)[46] o físicos (agentes ionizantes: rayos X, emanaciones de sustancias radiactivas, neutrones, rayos ultravioletas…).

Dado que la mutación es una alteración del código genético, se inscribe de golpe en el patrimonio hereditario del individuo.

Si el ADN inicial es considerado como modelo de la especie, el ADN mutado es anormal. Pero esto no es más que un modo antropomórfico de apreciar los hechos.

Cosa singular, si las mutaciones no son previsibles, no ocurre lo mismo con la tasa de su aparición, que es más o menos constante en una población dada. Una dosis determinada de rayos X o cualquier otro agente mutágeno que actúe sobre un conjunto de animales o plantas provoca en ellos un aumento del número de mutantes, que *grosso modo*, y de una experiencia a la siguiente, permanece sensiblemente constante. Si la teoría del blanco (el agente mutágeno golpea la cadena de ADN como la flecha su blanco) es exacta, la probabilidad de la aparición de una mutación se plantea como la del juego de cara o cruz, o del alfiler que cae en la hendidura de una tarima.

Además, es seguro que en el transcurso del tiempo, aparece la misma mutación una serie de veces[47]. Este hecho acredita la idea de que un gen tan sólo puede cambiar dentro de unos determinados límites. Dicho de otro modo, no puede transformarse en cualquier cosa. Existe casi la seguridad de que el número de sus posibles variaciones es limitado. Esta afirmación lleva consigo importantes consecuencias teóricas. Si el número de mutaciones es en efecto el que calculan los genéticos, los tipos distintos de mutaciones son mucho menos numerosos. La fuente de la que se nutre el flujo evolutivo es más modesta de lo que los darwinistas hacen creer. El «infinito poder creador» del ADN seguramente no sea tan infinito como ellos pretenden.

La mutación se ve muy limitada en sus «virtudes constructivas». Por ello, la formación por mutación de un pelo o de una escama de reptil se presenta como un fenómeno de probabilidad ínfima. La formación de mamas a partir de glándulas tegumentarias de reptiles por mutación, tampoco es en absoluto más probable (los tegumentos de los reptiles son muy pobres en glándulas tegumentarias, GABE y SAINTE-GIRONS, 1967), etcétera.

La presencia, en una población dada, de individuos preadaptados a un nuevo medio, a una circunstancia excepcional, es el resultado de una sucesión de azares felices que serían: 1.º La mutación; 2.º La satisfacción precisa de la nueva necesidad por parte de esa mutación; 3.º La dominancia de la mutación o una condición homozigótica del mutante; 4.º La aparición del mutante en el momento preciso.

Las probabilidades de una preadaptación disminuyen tanto más cuanto las condiciones requeridas para el éxito (parámetros y circunstancias) sean más numerosas.

Las variaciones génicas no son las únicas que modifican la intimidad de la célula. Las mutaciones debidas a alteraciones en los cromosomas (traslocaciones, inversiones de segmentos, intercambios de segmentos entre cromosomas, rupturas, soldaduras de cromosomas…) son también hereditarias y desempeñan un papel en la diferenciación y la separación de las razas y las subespecies, e incluso de las especies. Estas mutaciones hacen aparecer nuevas combinaciones génicas sin modificar los genes.

Mantener que los errores de copia del ADN constituyen las únicas variaciones hereditarias que originan caracteres nuevos, es admitir que la evolución ha escapado al determinismo y se ha producido en el mayor de los azares.

El orden biológico y el antiazar

Las mutaciones se producen de modo incoherente en el tiempo; no se completan ni se adicionan a través de sucesivas generaciones siguiendo una misma dirección. Modifican lo existente, pero lo hacen de modo desordenado, es decir, de cualquier manera.

Qué duda cabe, es necesario decirlo, que la filiación no implica que las variaciones sean coherentes, siguiendo vías preferenciales;

por contraste, la evolución sucede según vías precisas fielmente seguidas a lo largo de períodos de tiempo inmensos.

Si bien no todo es perfecto, el mundo de lo viviente tiene bien poco de caótico, y la vida es consecuencia de un orden muy riguroso. En el momento en que hace aparición un factor de desorden, por nimio que sea, en el seno de un ser organizado, sobrevienen en él la enfermedad y la muerte. Los fenómenos vitales no se avienen con la anarquía. En ningún ser vivo sano se encuentra la jerarquía de los órganos o sus funciones alterada o comprometida. Los gradientes ápico-basales, los campos morfogenéticos, la cefalización, dan fe de la independencia y la jerarquización de las partes. Toda ontogénesis de un animal o planta pluricelular implica la instauración, en la forma ya perfecta de la especie, de una organización jerarquizada inscrita ya en estado potencial en el huevo fecundado, que es al fin y a la postre el depositario de las propiedades de la especie en su totalidad.

Las variaciones genéticas raciales o individuales son algo muy diferente, que se manifiesta sin tendencia ni orden preferente. La supuesta correlación entre la piel negra, el cabello crespo y los labios gruesos de la gran raza negroide carece aparentemente de todo valor biológico; tampoco posee valor alguno el conjunto de ojo embridado**(e17)** con repliegue parpebral invisible (salvo en la oclusión de los párpados), piel amarilla y mancha mongólica en los mongoloides.

Ante las evidencias de orden, de adaptación de las formas a las funciones, del acuerdo entre el modo de vida y el entorno, los teóricos de la evolución aleatoria dan, en cierto modo, marcha atrás, y le recortan las garras al omnipotente azar.

Es preciso que reine el orden, es decir, que ya no sea el azar quien lo haga. Los darwinistas recurren a la selección natural que es, según ellos, el más poderoso de los antiazares y la gran organizadora de estructuras y funciones vitales. Gracias a ella, el caos se transforma en un sistema tan perfectamente armonioso en sus partes y en su conjunto, que nos sentiríamos tentados a pensar que ha sido producido por causas que escapan aún a nuestro entendimiento.

Para poder apreciar adecuadamente el papel del azar, tanto en la génesis de la vida como en su evolución, se impone analizar

mejor lo que son realmente las mutaciones y cuál es su papel en la génesis y el desarrollo de nuevas formas. Recordemos que son espontáneas, imprevisibles, hereditarias, sean las que sean en lo que a una función o una estructura definida se refiere, y que son además frecuentemente letales.

La selección actúa sobre los mutantes con arreglo a los parámetros malthusianos (WADDINGTON, 1967, *dixit*), que algunos designan por sus resultados: *la muerte diferencial* (*véase capítulo 6*), que elimina a los mutantes que acarrean caracteres desfavorables para la especie.

El cálculo de probabilidades aplicado a la demografía y la selección natural ha permitido no sólo analizar mejor los fenómenos, sino también evaluar sus consecuencias a largo plazo. Sin embargo, la teoría matemática de la selección natural, en lo que a sus relaciones con la evolución se refiere, no debe llevarnos a engaño. Vale lo que valen los principios sobre los que se apoya. Nuestro imperfecto conocimiento de los factores que determinan la supervivencia o la muerte de los miembros de una población dada resta mucha precisión y valor a las previsiones teóricas. He aquí un ejemplo; se ha dilucidado, por medio del cálculo estadístico, el resultado de la competencia entre dos tipos de mutantes en el seno de una población de drosófilas que vive en un espacio cerrado, bajo unas condiciones perfectamente definidas y sobre el supuesto de que las parejas se constituyen al azar (panmixia). Sin embargo, los seres vivos rara vez se unen al azar, la promiscuidad en los organismos superiores resulta verdaderamente excepcional; de hecho, es incluso dudosa su existencia. Las drosófilas no están en absoluto eximidas de esta regla y «eligen» su cónyuge en función de informaciones sensoriales y respuestas innatas. Vuelta a empezar con la teoría y los cálculos. Todo descubrimiento de un parámetro nuevo nos obliga a examinar de nuevo nuestras evaluaciones y a modificar las leyes estadísticas que las rigen.

Estas reservas no van al fondo del problema, que consiste en conocer el papel real, y no el supuesto, que ha desempeñado y desempeña la selección natural en la evolución. El siguiente capítulo está consagrado en su totalidad al examen de las condiciones en las que se plantea el problema y a su resolución.

En lo que respecta a la función antiazar que supuestamente

asume la selección, recordemos que el coeficiente de selectividad de tal o cual carácter varía en función del entorno (entendiendo este término en su sentido más amplio). Si el entorno es estable, en teoría la población no debería cambiar, ya que se encuentra en equilibrio, y en equilibrio permanece. Para que se produzca una alteración de este orden, es preciso que se produzca una alteración de las condiciones externas que inciden sobre la población considerada. La alteración debe representar una intervención lo suficientemente enérgica como para romper el equilibrio de la población. En caso contrario, no tendría efecto alguno.

La selección ajusta el genotipo de los individuos a su medio. Merced a sus mutantes, la población dispone de algunas posibilidades de aproximar aún más su adaptación a las circunstancias y, como hemos dicho más arriba, mutación y selección natural constituyen un mecanismo regulador. Pero así como en la homeostasis el retorno al equilibrio es el resultado de una reacción del organismo, aquí la regulación genotípica tiene lugar sin que el ser vivo participe en la acción: sufre en primer lugar la mutación y acto seguido, la selección.

Así, aunque en manos del azar de las mutaciones, el ser vivo, gracias a un antiazar de orientación muy precisa, conserva el buen genotipo o lo modifica con arreglo a sus necesidades. De una configuración genotípica a otra, de una mutación cualquiera a otra, la evolución prosigue su camino sin que el ser vivo tenga intervención alguna, merced a la criba de lo útil y lo adecuado con que opera la selección.

La preadaptación aleatoria

La biología molecular ha conocido sus más grandes éxitos en el dominio de la genética y el metabolismo celular. La genética es la ciencia de lo *heredable*, de lo *transmisible* dentro de la similitud; no llega a ser, sino secundariamente y de modo accidental, la ciencia de lo inestable, de lo variable. Ahora bien, *un estado rigurosamente estable sería incompatible con la supervivencia del ser vivo*, de la población o de la especie, que viven sometidos a diversidad de climas: tórridos, glaciales o templados.

Como ya es sabido, un mismo gen se suele presentar bajo varias formas o alelos que son consecuencia de sus mutaciones. El estado

homozigótico de una población (o un estado aproximado, ya que es imposible asegurar que un ser vivo sea homozigótico para todos y cada uno de sus genes) es rarísimo y desfavorable a la especie. En buena lógica, cuanto más heterozigótica sea una población, tantas más posibilidades tendrá —gracias a su capital genético diverso— de poseer en alguno de sus miembros el carácter que le permita adaptarse a los cambios del medio, o a unas nuevas circunstancias. El estado heterozigótico adopta pues para la especie el papel de un seguro contra las catástrofes que pudieran sobrevenir. El azar, aun a pesar de su ceguera, llega a ser el dios tutelar de la población. Por ejemplo, gracias a él se encuentran en un cultivo de gonococos los mutantes capaces de resistir el embate de las sulfamidas o los antibióticos, y lo mismo ocurre en una población de neumococos, que producen una enzima, la penicilinasa, destructora de la penicilina, etc. La especie triunfa sobre la droga gracias a los mutantes aleatorios aparecidos con anterioridad a la aplicación del antibiótico, que generan razas resistentes. La preadaptación es uno de los nombres asignados a este seguro aleatorio de la especie; *el azar de las mutaciones se opone al azar de las variaciones del entorno, de las circunstancias, y protege a la especie de sus efectos nocivos*.

Para una población dada, el total de alelos constituye un fondo regulador que interviene cuando se rompe o se encuentra amenazado el equilibrio entre el medio y el organismo. Se trata pues, de un sistema de equilibrio, de compensación, no de innovación. Si, como ocurre con mayor frecuencia, el mutante es inferior en su resistencia, su configuración, etc., al resto de la población, el cambio de medio puede en ocasiones invertir los papeles, y la mutación desfavorable se convierte en favorable.

Pero no debemos olvidar que la genovariación, en dosis sencilla o doble, resulta en general *muy* letal para el organismo que la padece. La larga lista de enfermedades familiares que tienen por origen, tanto en el hombre como en el animal, mutaciones patógenas, que llegan incluso a ser mortales, resulta ilustrativa en este sentido.

Los genéticos han calculado, partiendo de la combinación de 4 clases de nucleótidos —monómeros de la molécula de ADN— el número de alelos posibles que es capaz de formar el ADN de los

cromosomas de una especie dada. Las cifras obtenidas son extraordinariamente elevadas, pero inseguras. Hasta hoy las mutaciones enumeradas en animales y plantas bien conocidos, *Escherichia coli, Neurospora, Saccharomyces*, maíz, tabaco, algodón, rata, ratón, conejo, animales domésticos, hombre, no sobrepasan algunos miles para cada especie, pero resulta verosímil que la cifra real sea mucho más elevadas (*véase* más adelante).

El cálculo no tiene lo suficientemente en cuenta que no todos los genes mutan con la misma frecuencia. Los genes «arcaicos» que determinan las proteínas y las funciones fundamentales (por ejemplo, el ciclo de Krebs), mutan al parecer con menor frecuencia que los genes de reciente adquisición. Es posible que los cambios que revisten cierta amplitud resulten incompatibles con la vida y produzcan la muerte muy precoz del embrión. La mutación pasaría entonces desapercibida.

La genética ha precisado las tasas de mutación espontánea que sufren determinadas especies. En *Drosophila*, por poner un ejemplo, y para el caso del segundo cromosoma se ha determinado que la tasa de mutaciones letales afecta a un
0,5
por 100 de los individuos, o algo menos del
0,5
por 100 en el caso del tercer cromosoma, resultando una incidencia mucho menor en el caso del cuarto, que es el más pequeño. En el primer cromosoma (cromosoma sexual), la tasa de mutaciones recesivas ligada al sexo es de un
0,1
por 100.

El conjunto de mutaciones definitivamente letales afecta a un 1 por 100 de la población. Si a éstas añadimos las múltiples mutaciones cuyos efectos son poco letales y las escasísimas mutaciones que resultan favorables a la especie, obtenemos un total global de un 5 por 100, o lo que es lo mismo, de una mutación por cada 20 gametos. Esta relación tan elevada lo sería aún más si tomáramos en consideración las mutaciones que afectan a los poligenes; llegaríamos entonces hasta un 35 por 100 de los gametos (MUKAI, 1964). Incluso podríamos obtener cifras más elevadas si tomáramos en consideración las *mutaciones neutras*, que afectan

tan escasamente la composición de las proteínas que el mutante no percibe ni ventajas ni inconvenientes.

Podemos admitir que el número de preadaptados sea proporcional al de mutantes; pero la calidad de los mutantes tan sólo podemos reconocerla mediante el campo de pruebas de la realidad; lo cuantitativo no nos revela nada especialmente importante.

Por numerosos que sean los mutantes, nadie puede afirmar que se encuentre entre ellos uno capaz de paliar las dificultades producidas por las alteraciones del medio, las modificaciones etológicas y las agresiones de todo tipo.

Los 3200 millones de hombres que viven hoy en día y los miles de millones que existieron en el pasado jamás llegaron a sufrir la mutación que les hubiera hecho resistentes a los Plasmodios (paludismo), y sin embargo, cuán útil habría sido para la especie humana. Otro tanto podemos decir de todas las enfermedades parasitarias e infecciosas. La regulación genotípica pertenece al activo del antiazar darwiniano y alcanza rápidamente sus límites: las mutaciones «útiles» no sólo son raras, son muy raras.

El azar y las tendencias evolutivas

Al hablar de líneas, igualmente podríamos hablar de especies que descienden unas de otras y que tienden hacia un determinado tipo. En ausencia de líneas orientadas el mundo de los seres vivos sería un caos. No existirían evolucionistas porque lo incoherente no puede ser objeto de una ciencia.

No es ocioso mencionar que la noción de evolución está históricamente ligada a la de orientación. LAMARCK (1809) proclamó el orden de creciente complejidad del reino animal (véase el cuadro genealógico que da del reino animal, pág. 424, t. II, *Philosophie Zoologique*, ed. de 1873). DARWIN (1859), ve en la selección natural el agente del progreso biológico para mayor bien del individuo y de la especie.

La evolución se presenta siempre (cuando hacemos referencia a los fósiles) como una marcha en dirección a una determinada forma. Se produce sumando, en el seno de una línea, variaciones que están orientadas en un mismo sentido y que se van acumulando a lo largo de millones y millones de años. La génesis de los

Mamíferos a partir de los Reptiles duró más de 50 millones de años.

La Paleontología no aporta datos a favor de la doctrina evolucionista aleatoria: la evolución se produce en un único sentido general, y se mantiene el tiempo necesario para que una determinada línea realice en toda su plenitud una forma determinada (su prototipo o *idiomorfo*).

No obstante, aquellos paleontólogos que son adeptos incondicionales (entre ellos G. G. SIMPSON) de la doctrina aleatoria, se oponen a la noción de la evolución orientada, que confunden erróneamente con la ortogénesis. Repetimos aquí que *la existencia de líneas orientadas es un hecho y no una visión teórica; la línea sólo es reconocible y existente porque encarna una tendencia a través de individuos procedentes los unos de los otros en el transcurrir del tiempo*.

Una especie A pasa a ser B, y posteriormente C; con la aparición de cada nueva forma algunos trazos de A se van haciendo más pronunciados, y así sucesivamente. En la realidad, por supuesto, las cosas son más complejas. Si bien la evolución es arbustiva, hecho que establecimos en el capítulo II, no es sin embargo desordenada. Cada rama que se separa de la principal posee sus propias tendencias, permaneciendo no obstante fiel al *leitmotiv* evolutivo genérico del orden (Primates, Proboscídeos), de la superfamilia (Équidos)…

Ninguna filogénesis se ha producido de modo desordenado: esto es lo que nos enseña la paleontología **[48]**.

Las mutaciones letales, que son, con mucho, las más frecuentes, se encuentran excluidas de todo proceso evolutivo **[49]**. Las recesivas, es decir, las no expresadas fenotípicamente, eluden la selección, que sólo actúa sobre lo manifiesto y no sobre lo potencial. Se ha llegado a imaginar que el gen recesivo podría (en combinación con otros genes) llegar a ser dominante y operativo, pero no se conocen con seguridad ni el mecanismo ni la frecuencia de esta dominancia asistida.

La aparición, en el momento preciso, de mutaciones que satisfagan las necesidades de una planta o de un animal resulta inverosímil en grado sumo. Sin embargo, la doctrina darwinista exige mucho más aún, ya que para una planta o un animal dados,

deben haberse producido por *millones* esos sucesos felices y adecuados. *Así, pues, el milagro se hace ley*: la probabilidad más ínfima se realiza puntualmente. Como en el *Robinson Suizo*, que yo leí en mi infancia, siempre surge el suceso salvador en el momento adecuado, y así por los siglos de los siglos. Podemos admitir que una bacteria entre billones pueda ser el feliz preadaptado; pero las poblaciones de reptiles que se convierten en mamíferos, o de Primates que se transforman en hombres, no pasan de algunas decenas de millones de miembros (y, a menudo, cuentan con menos); por ello, las posibilidades de aparición de mutaciones «útiles» disminuyen en esa misma proporción; resultan casi nulas.

Los darwinistas argumentan que no vemos más que los éxitos, y que olvidamos los fracasos porque desaparecen. Esto es sólo parcialmente cierto. Las líneas extinguidas no son mayoritarias, lo que significa que los éxitos (concordancia mutación-necesidad) han sido más numerosos y que, como consecuencia, la presencia del preadaptado útil constituyó la regla. No es difícil ver a qué extremos conduce esto.

Los darwinistas rara vez hablan, y siempre que lo hacen es con gran circunspección, de las posibilidades que tiene de existir (en la reserva de alelos de una población uniespecífica) el gen capaz de satisfacer una determinada necesidad de la especie. Naturalmente, ellos saben que son muy escasas, pero les importa muy poco, puesto que, según dicen, los millones de especies que actualmente existen han triunfado a pesar de sus magras esperanzas de éxito.

Esto no impide que las escasas probabilidades de supervivencia a las que se enfrenta el constante éxito de las especies sean como para sorprender al espíritu menos curioso.

¿Qué jugador, por apasionado que fuese, sería lo bastante loco como para jugar a la ruleta de la evolución aleatoria? Que el polvo arrastrado por el viento sea capaz de reproducir la «Melancolía» de Durero resulta menos improbable que la construcción del ojo por errores de copia de la molécula de ADN, errores que, por otra parte, *carecen de relación alguna* con la función futura del ojo.

Nadie prohíbe las fantasías, pero la ciencia no debe abandonarse a ellas.

Concluyendo, en la doctrina darwinista la preadaptación equivale a una armonía preestablecida, latente, que algunos

animales llevan en su seno. En el mundo viviente, esparcidos en los organismos, existen unos mecanismos, órganos y enzimas que en circunstancias favorables, y por supuesto aleatorias, complementan lo que falta, protegen lo que necesita ser protegido y neutralizan lo que debe ser neutralizado. Los filósofos extraerán de este cuadro las enseñanzas que quieran. LEIBNITZ seguramente extraería las suyas también.

El azar y la complejidad orgánica

Dejando a un lado los fósiles y las preadaptaciones, precisemos las cualidades necesarias para que las mutaciones puedan participar en la génesis de órganos complejos: oportunidad, acuerdo con lo preexistente, coordinación con otras mutaciones…

Nuestro examen se referirá al ojo, cuya génesis plantea a todos los evolucionistas terribles problemas. JULIAN HUXLEY sostuvo en una conferencia (*Palais de la Découverte*, París, hacia 1946) que el problema había quedado resuelto. Nosotros sólo vemos en semejante afirmación las declaraciones de un orador apasionado por su tema que mide mal el alcance de sus palabras.

CHARLES DARWIN, más prudente que su discípulo, apreciaba las debilidades de su sistema —debilidades que subsisten y se agravan—, y así leemos, sin sorpresa, en una carta dirigida en febrero de 1860 a su amigo el botánico ASA GRAY: «Hasta el momento, el ojo me hace estremecer, pero al pensar en las extraordinarias gradaciones que se conocen, mi razón me dice que debo dominar mis temores[50]». Comprendemos muy bien la inquietud del naturalista de Down, y ¿cuál no sería hoy ésta ante la complejidad anatómica y citológica desvelada por la biología moderna, sabiendo además que la selección no crea nada por sí misma? Lo ignoramos todo sobre la evolución del ojo de los Vertebrados, y la embriología no nos aclara nada acerca del tema. Lo que necesitamos saber es si las mutaciones aleatorias son el origen de un órgano que por su complejidad exige un volumen enorme de información para su construcción. El número de mutaciones ha debido ser inmenso para que, al azar, aparezcan las más adecuadas, se produzcan en el momento preciso y permitan además funcionar al órgano[51]. No insistimos en la diversidad de medios transparentes, en las relaciones del líquido intraocular

(humor acuoso) con el sistema venoso (canal de Schlemm), etc., en la complejidad de la retina, sus capas, etc. Todo esto es más que conocido, pero no puedo por menos que señalar que ningún libro reciente, de los inspirados por el darwinismo, hace mención de estos hechos.

En 1860, DARWIN pensaba exclusivamente en el ojo, pero hoy en día habría que tomar en consideración también todos los anejos cerebrales del órgano. La retina está en relación directa con la zona estriada del lóbulo occipital de los hemisferios cerebrales: a cada una de sus partes —quizá a cada una de sus células fotorreceptoras— corresponden neuronas especializadas. La unión de las fibras del nervio óptico y las neuronas del lóbulo occipital se efectúa con una perfección asombrosa en el cuerpo calloso. Las conducciones de los axones, el crecimiento de las dendritas, su unión con los elementos correspondientes, están tan exactamente reguladas en el tiempo y en el espacio que, normalmente, todo es perfección.

En la realidad, el cuadro que acabamos de bosquejar es aún más complejo; hemos pasado por alto la estructura molecular, tan rica en peculiaridades adaptativas como la macroestructura, cuyos refinamientos fueron tomados a veces equivocadamente por imperfecciones (véase IVANOFF, 1953), y dejado de lado la química del órgano.

Hemos tomado el ojo como ejemplo de órgano con multitud de refinamientos, pero el oído hubiera resultado igual de ilustrativo. Y, ¿acaso no es el cerebro humano el mejor de los ejemplos? Es un órgano que goza de la capacidad de la abstracción, cuya arquitectura cortical, con sus
14 000
millones de neuronas, dista mucho de sernos bien conocida.

En el Mamífero, *todos los órganos de los sentidos han evolucionado más o menos a la vez*. Cuando pensamos en lo que su formación ha exigido, en mutaciones simultáneas o casi simultáneas, aparecidas en el momento preciso, adecuadas a las necesidades del momento, quedamos confundidos por tanta armonía, tantas coincidencias felices, debidas exclusivamente al azar triunfante.

La selección debe proseguir su obra en generaciones sucesivas y

encontrar en ellas los materiales convenientes para su tarea [52]. Pero las mutaciones sucesivas deben concordar con las que las han precedido, ya que en caso contrario carecerían de todo valor evolutivo. Ya hemos enumerado toda la serie de azares felices que exige la más mínima evolución basada en las mutaciones.

Quien adopta la teoría aleatoria de la evolución admite que el ojo o el oído han exigido para llegar a ser lo que son millares y millares de *azares felices* sincronizados con las necesidades de su construcción. ¿Qué probabilidad hay de que se produzca un éxito tan prodigioso fortuitamente [53] ?.

La selección natural, por muy maestro de obras que sea del mundo viviente, sólo actúa si dispone en el momento propicio de los ladrillos necesarios para construir el órgano. ¿Qué importan las mutaciones adecuadas si aparecen demasiado pronto o demasiado tarde en el transcurso de la filogénesis?

Si el cristalino y la retina no se hubieran formado en momentos precisos y en estrecha relación el uno con el otro (la retina es el inductor de las partes anteriores del ojo), el ojo no hubiera conocido la luz. Las eventuales mutaciones no han podido aparecer independientemente las unas de las otras. La influencia del órgano se extiende a sus alrededores: ¿Qué sería un ojo sin párpados ni glándulas lacrimales? Además, estos anejos debieron formarse muy tempranamente en el curso de la evolución: el ojo es demasiado delicado como para poder pasarse sin ellos. La cronología de los fenómenos que se suceden en el curso de toda ontogénesis es inflexible. El ser vivo exige, para formarse y subsistir, un orden, tanto en el desarrollo de sus transformaciones como en el de su arquitectura. En todo esto el azar brilla por su ausencia.

Además, en el curso de las organogénesis filogenéticas, la selección natural tendría que gozar del don de la adivinación, de la profecía. ¿Acaso no es lo suyo elegir? Pero no puede realizarse ninguna elección sin la previsión del futuro papel del órgano en formación. Sin ella, la coordinación de los sucesivos estadios se hace incomprensible. ¿Pensaría en ello DARWIN?

Sin su poder profético, la selección no dispondría de medios para favorecer un órgano en proceso de construcción, incluso en el momento en que su utilidad es muy escasa o nula. ¿Qué ventajas podría conferir el bosquejo de un ojo cuando los materiales que lo

componían no eran aún transparentes? ¿Qué utilidad podría tener el desarrollo del hueso dentario y la concomitante regresión de los huesos proximales de la mandíbula en los Reptiles Teriodontos, antepasados de los Mamíferos? Siempre cabe intentar una respuesta, pero ésta solamente añade una suposición más a otras suposiciones.

Se nos ha venido diciendo con gran insistencia que el azar lo puede todo. Con las afirmaciones no basta; hay que dar pruebas. No tenemos por muestra de semejante afirmación la aparición de resistencia a un antibiótico dado en el seno de una población bacteriana no resistente. No se trata aquí de una estructura ni de una función fundamentales. Y esto es tan claro que las variaciones de esta naturaleza, incluso repetidas millones de veces, ha dejado a la Bacteria idéntica a sí misma, excepción hecha de algunos detalles.

El ser vivo, que debe mantener en todo momento su unidad funcional, es un sistema autorregulador cuya finalidad inmanente, perseverar en el ser, constituye una propiedad esencial que no se puede disimular ni tan siquiera enmascarándola con un nombre que no es, en definitiva, más que una huida.

Los bioquímicos y los físicos que abordan la gran obra de la biogénesis saben que *convertir en viviente un sistema material es darle un fin que preserve de manera duradera múltiples autorregulaciones*.

Pero, al margen de la ciencia, se ha edificado poco a poco un sistema teórico que explica por medio del azar la génesis y la evolución del biocosmos. Sus partidarios tienen fe en el azar, no dudan que la lotería de la vida dota al ser viviente de todo lo que le pueda hacer falta:

> *A los pajarillos da el alimento.*
> *Y su bondad se extiende a toda la naturaleza.*

Guiado por la todopoderosa selección, el azar adopta el aspecto de una Providencia que, bajo una falsa capa de ateísmo, se reverencia sin pronunciar su nombre.

Tomemos por falso el dilema «o el azar o lo sobrenatural», con el

que los biólogos de lo aleatorio tratan en vano de arrinconar a sus adversarios. Ni el azar, ni lo sobrenatural, sino las leyes que rigen a los seres vivientes, cuya búsqueda es el fin, la razón de ser de la Ciencia, que en esta cuestión debe ser quien tenga la última palabra.

Afirmar, incluso con seguridad olímpica, que la vida, los seres vivos, han nacido por puro azar y han evolucionado del mismo modo, es una suposición gratuita que estimamos errónea y en desacuerdo con los hechos.

5. Evolución y selección natural

La evolución, tal y como la imagina la doctrina darwinista, al extraer sus materiales de construcción de entre los mutantes, no puede prescindir del azar, que es su abastecedor, pero la selección a la que recurre para ajustar las mutaciones a la necesidad (?) o a la simple utilidad, se convierte en el antiazar, el preservador del orden. Así, su doctrina, en su forma más elaborada, juega con dos barajas y se esfuerza por conciliar el caos y el orden, aparentemente irreconciliables.

Por consiguiente, liga estrechamente la adaptación a la selección, dependiendo la primera de la segunda. Esta concepción ha influenciado a su vez el modo de evaluar la utilidad de los caracteres exhibidos por el ser vivo y la interpretación del origen de la adaptación.

Todo estudio crítico debe, por tanto, tratar las dos nociones. Hemos consagrado un capítulo al estudio de cada una de ellas.

La idea de selección

La idea de una selección que elige a los que varían en el seno de una población, separando a los aptos de los ineptos, ha sido expresada mucho antes del siglo XIX por naturalistas o filósofos. Aristóteles, eterno precursor, enunció en el libro IX de *Partes de los Animales* el mismo principio de la competencia por la vida: «Los animales están en guerra los unos con los otros cuando habitan los mismos lugares y utilizan los mismos alimentos. Si el alimento no es lo suficientemente abundante se pelean aunque sean de la misma especie». Incluso se preguntaba en su *Física* (libro II, capítulo VIII) si «esta lucha no podría tener como resultado la extinción de formas

insuficientemente adaptadas a las condiciones de existencia y la conservación de formas bien adaptadas, lo que explicaría la aparente *finalidad* que observamos. —Pero rechaza inmediatamente la idea—: La finalidad en la naturaleza constituye una regla, y no una excepción. Considera, por otra parte, que los recursos de la naturaleza son lo suficientemente grandes como para hacer imposible la destrucción de una de sus obras. Además, no todos los animales están en lucha, los hay que son amigos» (E. PERRIER, *La philosophie zoologique avant Darwin*, F. Alcan, París, 1896, pág. 16).

En otros escritos de la antigüedad aparecen alusiones a la competencia entre los animales y la supervivencia del más apto, en especial en *Natura rerum*, de LUCRECIO. Pero no aparece filósofo o naturalista alguno que deduzca un principio general de ella: faltaba la noción de evolución. Es a DARWIN y WALLACE (1858) a quienes pertenece realmente la idea de atribuir a la lucha por la existencia un papel selectivo que llevaría consigo la evolución de los seres vivos.

En la explicación del mecanismo evolutivo presentada conjuntamente por DARWIN y WALLACE, la idea de que sólo persisten los individuos más aptos en la lucha contra sus semejantes, sus enemigos de todas clases, la adversidad climática, la dificultad en encontrar alimento, para resistir las enfermedades infecciosas, etc., es, con mucho, la más original.

Tomaron la inspiración y la explicación del libro del fisiócrata MALTHUS, *Ensayo sobre la población*, 1798 (véase WALLACE, 1908), que puso de manifiesto el desequilibrio existente entre la multiplicación de los humanos y la cantidad de alimento disponible, al tiempo que la causa**(e18)** de las pérdidas que sufren las poblaciones.

La selección natural sigue siendo el arquitrabe**(e19)** de la bóveda de la doctrina darwinista que postula su *universalidad* y, de hecho, su papel de agente responsable de la evolución de *todos* los seres organizados.

No han sobrevivido más que las formas viables (lo cual es evidente), no han persistido más que los dispositivos adecuados a su función. Al desorden de las funciones aleatorias, la selección opone el orden, el equilibrio, incluso la armonía. Ésta es una

interpretación cuya exactitud habría que demostrar.

Decir de un determinado conjunto de objetos o de seres vivos que está en equilibrio con su medio, o que sus componentes lo están entre sí, no significa en absoluto que este equilibrio y el estado del conjunto sean resultado de una selección, de una criba anterior.

Así, pues, el estado actual del macrocosmos y de sus astros no es resultado en absoluto de una criba, sino del paso de un estado a otro, siguiendo el cambio hasta que se alcanza una cierta estabilidad, la cual se romperá a su vez bajo la influencia de causas internas o externas.

Hacer intervenir a la selección es poner fin**(e20)** al sistema. No podría haber criba sin intención. Quizá importa que ésta esté animada por la necesidad o cualquier otro factor; las causas cambian, pero no dejan de ser finalizadoras.

Lo que nos interesa, de momento, es saber en qué medida las pérdidas sufridas por toda población animal o vegetal intervienen en el proceso evolutivo.

La selección a lo largo de la ontogénesis

Las partes, tanto animales como vegetales, sufren enormes pérdidas que incumben, en primer lugar, a sus miembros reproductores y sus embriones. A pesar de su muy elevada fecundidad, muchas poblaciones permanecen numéricamente estables, lo que quiere decir que a una pareja le sucede otra pareja. Este estado de cosas da fe de la importancia de la mortalidad de los gérmenes, embriones y jóvenes.

En los animales en que el acto reproductor reúne a multitud de individuos, la destrucción se convierte en masacre. Las innumerables termitas u hormigas que al formar sus enjambres salen en masa de su nido, son atacadas con frenesí por sus depredadores. Sobreviven las contadas parejas que han encontrado un abrigo bajo tierra, en la anfractuosidad de una corteza…, y esto sin que intervengan las cualidades propias del insecto, sin que intervenga para nada la selección. Las «nubes» de Anélidos Poliquetos que van a sus bodas, del mismo modo que los enjambres de Insectos, son víctimas de numerosos e insaciables enemigos.

Las colosales destrucciones de huevos, de espermatozoides, de granos, de larvas, no son selectivas. La muerte no elige sus víctimas:

da palos de ciego.

Los gametos mal conformados, muy numerosos, no toman parte en la fecundación más que raras veces a causa de su incapacidad funcional. Pero un huevo o un espermatozoide pueden llevar genes letales y producir un embrión que se desarrolla normalmente hasta la entrada en acción de sus genes, en ocasiones al final de la ontogénesis. Las estadísticas revelan que, en la especie humana, un 25 por 100 de los abortos y los niños nacidos muertos padecen una anomalía cromosómica (frecuentemente una polisomía); es probable que entre el 75 por 100 restante, una sustanciosa proporción sea víctima de genes letales.

En el curso del desarrollo embrionario y de las primeras edades, la eliminación de lo peor, de lo patológico, desempeñan un papel importante; protege el genotipo, pero no ejerce una influencia directriz sobre la evolución.

La selección y el accidente

Las pérdidas masivas debidas a cataclismos, que azotan vastos espacios tienen un efecto poco selectivo sobre los animales y los vegetales. Golpean ciegamente, al azar, los lugares y las circunstancias: el maremoto, la inundación, el incendio del bosque o la sabana, etc., no seleccionan sus víctimas.

El huracán que abate frentes de bosque no ejerce una acción selectiva: los bosques abatidos por el viento crean un medio propicio a ciertas especies y contrario a otras. En el bosque primario ecuatorial, las grandes heridas abiertas por los tornados son lugares vacíos donde se muestra viva la competición interespecífica y donde se suceden asociaciones vegetales que recorren un ciclo cuyo término constante no es otro que la vuelta al bosque primigenio, clímax, del medio considerado.

De todas maneras, los incendios producidos cada año por los indígenas en las sabanas africanas durante la estación seca perdonan algunas especies vegetales llamadas pirofitas que, gracias al espesor de su corteza, a sus órganos subterráneos, a la suculencia de sus tejidos, resisten al calor y las llamas.

Así, la «preadaptación» (noción generalizada por LUCIEN CUÉNOT **[54]** favorece a ciertas especies que después del incendio se hacen predominantes. Es el caso de las sabanas centroafricanas de

Hygrophila y *Lepidagathis* (Acantáceas) que son plantas bajas cuyas cápsulas, que encierran los granos, se abren con dificultad; durante el incendio, los frutos aglomerados, apenas son lamidos por las llamas, pero modificados por el repentino calor, estallan con el primer rocío proyectando sus granos a distancia, lo que favorece la dispersión y la extensión de la planta.

El incendio ejerce una acción evidente sobre la composición de la flora. Pero, dado que existen pocos estudios realizados sobre el fenómeno, no puede afirmarse que favorezca, dentro de una misma especie, a un genotipo en beneficio de otro. *Sea como sea, no provoca la aparición de novedades*. La selección de preadaptados modifica la composición de la población vegetal pero no constituye una evolución verdadera porque los individuos no cambian. En cuanto cesan los incendios periódicos el factor selectivo deja de actuar; al no estar ya favorecidas las pirofitas, la población vegetal vuelve a ser lo que era antes de que el fuego la modificase.

No vayamos a confundir la evolución creadora con las variaciones de composición de una población según las circunstancias. Los dos fenómenos son distintos; intentar relacionarlos sólo puede llevarnos a conclusiones engañosas.

Los ejemplos de preadaptaciones propuestos hasta ahora (selección por el hielo, de individuos resistentes al frío en el seno de una población vegetal, de pirofitas por los incendios forestales; de Crustáceos acuáticos o de Peces eurihalinos por las variaciones de la salinidad, de los Insectos ápteros por el viento…) conciernen tan sólo a caracteres que no se refieren al plan de organización y que no comprometen nunca a la especie en una vía nueva **[55]**.

En resumen, las destrucciones en masa golpean al azar. Tras los cataclismos, los preadaptados, si por casualidad existen, son los únicos que sobreviven, y la flora y la fauna quedan modificadas, pero el estatus génico de los individuos cambia poco y no se observa ninguna variación de importancia.

La eliminación selectiva

Las muertes accidentales influyen en el crecimiento, el declive o el equilibrio de las poblaciones, pero apenas nada en su evolución.

Tras las masacres aleatorias, se establece, en las poblaciones que

han sobrevivido, competencias de severidad variable entre larvas, jóvenes y adultos, que tienen como resultado, según la teoría, la supervivencia del más apto, es decir, en términos genéticos, del genotipo mejor adaptado al medio. La eliminación de cualquiera de ellos se vuelve selectiva [56].

La supervivencia del más apto resulta de una acción esencialmente supresora. Si actuase plenamente, las poblaciones naturales uniespecíficas tenderían hacia la unificación del genotipo y las multiespecíficas a la uniespecificidad. Sin embargo, persiste el menos bueno, y las poblaciones naturales siguen siendo muy heterogéneas (genéticamente hablando).

Conviene también conocer las modalidades de selección natural. Los estudios se han realizado más sobre poblaciones experimentales que sobre poblaciones naturales.

Si en la inmensa mayoría de los casos el mutante generalmente «inferior» al tipo salvaje queda eliminado, no ocurre lo mismo otras veces; el mutante se mantiene, se instala en la población. Así ocurrió para un alelo de *sepia* (color del ojo) que TEISSIER (1943) vio aparecer en un cultivo de drosófilas [57]: *Sepia* aumentaba gradualmente en número, y tras una veintena de generaciones se estabiliza en torno a un valor fijo.

Los estudios demográficos sobre poblaciones experimentales de drosófilas han mostrado que los valores selectivos de los genotipos dependen de las condiciones del medio en que viven dichas poblaciones.

La labilidad de los seres vivientes se constata de muchas maneras. He aquí una que, para el evolucionista, tiene un valor particular. La tomo prestada de la obra de G. TEISSIER, a quien considero el biólogo que más finamente ha estudiado la selección natural y cuya adhesión a las ideas darwinistas no puede ser puesta en duda. Sobre las poblaciones experimentales de *Drosophila*, escribe (1958): «la frecuencia de algunos mutantes puede permanecer sensiblemente constante durante varias decenas de generaciones, pero, si la experiencia continúa durante mucho tiempo, esta frecuencia presenta normalmente una sucesión de períodos de estabilidad, de crecimiento y de decrecimiento, pudiendo ser los niveles sucesivamente alcanzados muy distintos los unos de los otros. Estas variaciones imprevistas y rápidas que dan a

la evolución [58] de cada una de las poblaciones estudiadas sus caracteres propios, no pueden ser totalmente explicadas ni por medio de variaciones no manifiestas de las condiciones del medio, ni por una "deriva genética" consecuencia del carácter esencialmente aleatorio de la elección de los gametos destinados a formar las nuevas generaciones. No está prohibido creer que son la consecuencia de cambios no manifiestos sobrevenidos en sistemas de alelos diferentes a aquéllos en los que se realiza la observación».

Por tanto, si se mantiene estable el medio, conviene buscar las causas de la variación de la tasa de mutantes en la naturaleza misma de los miembros de la población. La explicación propuesta por TEISSIER es probablemente adecuada. Las mutaciones neutras y otras no manifiestas que diferencian a los descendientes de sus padres y a los individuos entre sí, modifican los valores selectivos de los genotipos, quizá a través de algún efecto de sumación. De aquí los cambios de frecuencia de sus diversos tipos.

Si nos situamos en una perspectiva evolucionista, las observaciones y experiencias efectuadas sobre poblaciones experimentales en un medio ambiente constante, nos muestran hasta qué punto la selección es de acción variable dependiente de varias causas. Cuando se pasa del tanque de cultivo a la naturaleza libre, la complejidad del medio aumenta en proporciones considerables y difíciles de evaluar: el número de genotipos, como el de los factores selectivos, se acrecienta.

Es difícil medir la influencia que tiene en la selección tal o cual carácter. Si la mutación compromete la vida del animal o la de la planta afectados, resulta sencillo reconocer sus efectos en la población considerada. Está claro que la medida de las ventajas o desventajas que proporciona a su portador un carácter determinado sólo tiene valor si se considera la relación entre el número de descendientes portadores y no portadores de la mutación.

Cuando se trata de un carácter único, y si se opera sobre poblaciones homogéneas, es decir, poblaciones cuyos individuos poseen el mismo genotipo excepto por un gen, se puede afirmar que las diferencias en número obedecen al carácter diferencial tomado en consideración. En poblaciones heterogéneas, las acciones e interacciones génicas son tan complejas que resulta difícil ser tan taxativo.

Dado que las especies difieren en un elevado número de genes, las comparaciones realizadas entre ellas para establecer el valor selectivo de un carácter carecen prácticamente de significado. Las desigualdades demográficas obedecen a un número demasiado elevado de causas como para precisar cuál tiene mayor o menor incidencia.

Valorar las ventajas o desventajas que confiere un carácter que no tenga una fuerte incidencia sobre su portador resulta difícil. Por ejemplo, los estudios estadísticos realizados sobre poblaciones del caracol de los bosques (*Cepaea nemoralis*) efectuados en Francia por LAMOTTE (1951, 1966) y en Inglaterra por CAIN y SHEPPARD (1950-54), CAIN y CURREY (1963, 1968, *a* y *b*)…, no han llevado a sus autores a las mismas conclusiones. LAMOTTE estima que las bandas negras presentes y más o menos desarrolladas influyen en la selección. Los autores ingleses son de opinión opuesta; atribuyen a la selección los índices más o menos elevados de la presencia de individuos con bandas o sin ellas. El debate, a pesar de lo que dice E. B. FORD (1971), no ha ofrecido conclusión definitiva alguna, segura y satisfactoria. La oposición de datos es de extremo interés, ya que todos los autores son darwinistas estrictos. Es importante recordar que las conchas de *Cepaea*, en los depósitos del Pleistoceno (de hace alrededor de un millón de años) llevaban ya bandas negras y rojas (DIVER, 1929). Este simple hecho indica la poca importancia que pueden tener los ornamentos en la supervivencia de la especie: el juez en el asunto es la historia; su veredicto es claro y se expresa por la supervivencia o la extinción.

Siendo imposible medir sobre poblaciones de animales fósiles lo que es ventajoso y lo que no lo es, todo lo que se diga sobre el valor selectivo de tal o cual carácter de un animal es pura imaginación. El que en una población de erizos de mar (*Cidaridae*) los individuos con espinas largas sean más numerosos no significa que el carácter «espina larga» sea la causa de su predominio; puede ser la consecuencia muy natural de un crecimiento que la edad no detiene. La causa puede ser un carácter muy diferente (resistencia a los parásitos, pérdidas embrionarias más débiles, etc.). La imaginación es libre; sepamos frenarla.

Si es difícil prever el destino de una población experimental, a

pesar de la gran calidad de los instrumentos matemáticos de que dispone el demógrafo y su conocimiento de los parámetros que intervienen en el medio, lo es mucho más cuando se trata de una población natural, la tarea se hace entonces imposible. El azar de las mutaciones no aparentes se opone por sí solo a una previsión, incluso poco segura, del destino de la población.

Como decimos en otro lugar de esta obra, la teoría triunfa a condición de no verse confrontada con la realidad, que la desborda por su complejidad.

La mutabilidad, a la luz de los descubrimientos hechos por la biología molecular, sobrepasa ampliamente las cifras que hace menos de 30 años se tenían por valores máximos. Casi tenemos derecho a decir que todo gen muta, y a menudo; pero las mutaciones de amplitud muy débil (*mutaciones neutras* de GOODMAN y otros biólogos moleculares), fenotípicamente inobservables, son con mucho las más frecuentes; el análisis de las proteínas ha permitido comprobarlo (hemoglobina y otros).

Bajo una apariencia estable, constante, el mundo viviente es lo que MONTAIGNE llamaba una «oscilación continua**(e21)**». Estabilidad en la variación, tal es la paradójica regla, aparentemente contradictoria, que siguen los seres vivientes. La variabilidad afirma y subraya la individualidad. Confiere a cada criatura viviente su estructura propia, su particular quimismo. Cada individuo posee «sus» proteínas que materializan su personalidad.

La fluctuación por pequeños errores de copia que salpican los productos de los genes, tiene como primera consecuencia, la de «personalizar» todo genotipo y todo fenotipo.

Las mutaciones que detectamos por observación directa corresponden a vulgares errores de copia; traen generalmente desórdenes en la forma y salud del animal que los sufre. No es sorprendente que estas mutaciones sean eliminadas en el límite de lo patológico y de lo monstruoso. Vida y desorden son incompatibles.

¿Es universal la competencia?

La selección que resulta de la competencia entre individuos de la misma especie o de especies diferentes, otorga una prima de supervivencia o de «reproductibilidad» a los mejor dotados.

Conocemos el viejo ejemplo de los lobos cazadores de gamos. Los más veloces sobreviven porque son los mejor alimentados, puesto que son ellos los que capturan el mayor número de presas. LUCRECIO fue el primero en citarlo. Darwin lo citó más tarde [59]. Tiene un solo defecto; aunque grave, es falso: los lobos, como los perros salvajes, cazan en manada y a la carrera hasta el agotamiento de su presa. El grupo fuerza la presa; *todos* los miembros de la manada participan en la persecución y el festín. No hay «campeones» que se apropien ellos solos del alimento. La persecución solitaria es excepcional, la llevan a cabo sólo los machos viejos o los individuos expulsados del clan; no interesa a los reproductores, los machos dominantes del clan. El lugar ocupado en la jerarquía social tiene una importancia diferente para el destino de cada individuo y puede excluirlo de la reproducción (castración psicológica).

En algunos medios, y para algunas especies, hace falta mucha imaginación para descubrir la obra de la selección. He aquí un ejemplo que nos viene a la memoria. Entre los gálagos (Primates Lemuroideos), que viven sobre todo en bosques, la competencia no se manifiesta. Los Insectos, de los que continuamente hacen un gran consumo, son tan abundantes que no tienen ninguna dificultad para capturarlos en número suficiente. En el caso de los frutos, las cosas cambian. Su escasez no se debe a una superpoblación, sino al ciclo estacional de su producción. Durante algunos meses, ningún árbol tiene frutos. Los *Galago elegantulus*, golosos de la resina que escurre a lo largo del tronco de las especies forestales, sólo ven disminuir este alimento durante algunas semanas de la estación seca. De hecho, la penuria no maltrata nunca a estos Lemuroideos omnívoros. Los depredadores, sobre todo los Vivérridos y las Rapaces, no cazan más que un pequeño número de individuos de la población de la que se alimentan. Su acción es sólo débilmente selectiva, pero como sabemos por otros depredadores (nutria), sin duda capturan ante todo los individuos endebles, enfermos o viejos.

Muchas selecciones vienen actuando desde tiempos muy remotos sin modificar la especie.

La historia de los lobos cazadores de gamos, invocada por DARWIN, acaba de proporcionarnos un ejemplo; la desigualdad de velocidad entre los individuos que componen la población no queda

abolida nunca.

Los salmones migratorios cuentan entre ellos con un contingente de individuos demasiado débiles para franquear los rápidos o los saltos de los ríos que remontan para desovar.

En los dos ejemplos, los individuos eliminados proceden de progenitores que habían remontado los obstáculos, puesto que sólo los vencedores tienen posibilidad de reproducirse. Los deficientes deben quizás su inferioridad a las desfavorables condiciones en las que se han desarrollado. Su eliminación se realiza afectando a las somatizaciones y no a los caracteres hereditarios.

Esto muestra la complejidad de los fenómenos que conciernen al equilibrio de las poblaciones y el limitado poder de la selección.

Hace tiempo estudié las poblaciones de Ortópteros en diversos biotopos del territorio francés. No he hecho nunca una observación que me permita afirmar la existencia de una competencia intra o interespecífica perceptible. Normalmente, en las praderas, las poblaciones sufren fluctuaciones numéricas y, por tanto, no se encuentran en equilibrio exacto con el medio. Pero excepto en casos raros de pululaciones (*Locusta migratoria f. galilea, Dociostaurus maroccanus, Calliptamus* [*italicus*?]), los Acrídidos disponen de una cantidad ilimitada de alimento. Fuera del período de reproducción se ignoran; sólo los individuos de algunas especies se reúnen bajo el efecto de la interacción social. La competencia es nula. Las pérdidas sufridas por las poblaciones se deben a las condiciones climáticas, a los depredadores (poco numerosos, incluso despreciables en algunos biotopos) y a las anomalías del desarrollo, como lo atestigua el contenido de las ootecas. Eliminan a capricho de las circunstancias a los lisiados, los enfermos y los fracasos de la ontogénesis, que pueden ser individuos cuyo genotipo esté hipotecado por genes mutados letales. Se constatan hechos análogos en el suborden de los Tettigónidos, con una competencia sin embargo ligeramente acentuada por efecto del canibalismo practicado en determinadas circunstancias (*Tettigonia, Decticus, Homorocoryphus*…). Las mantis adultas atacan a los saltamontes de pequeño o mediano tamaño así como a las larvas de los Tettigonidos; las detracciones de éstos a la población son siempre débiles.

En diversos grupos zoológicos no se puede ciertamente

despreciar la competencia. A veces una especie expulsa a la otra, lo que explica la rareza de especies simpátricas y también la localización de cada una de ellas en un nicho ecológico diferente dentro de un mismo territorio. Las especies simpátricas, no son, sin embargo excepcionales: las sociedades mixtas de monos Cercopitécidos del oeste africano, donde viven uno al lado de otro, o casi, *Cercopithecus nictitans, C. cephus, C. diana*, mezclados con *Cercocebus albigena*, suministran un buen ejemplo.

Por el contrario los tres pangolines del Gabón, aunque viven en los mismos lugares, ocupan nichos ecológicos diferentes: el pangolín gigante (*Manis gigantea*), exclusivamente terrestre, ataca sobre todo nidos hipogeos de termitas micófagas; el pangolín de cola larga (*Manis longicaudata*) es un trepador arborícola diurno amante del agua; el pangolín ordinario (*Manis tricuspis*) es de costumbres nocturnas y arborícolas aunque menos acentuadas que las del precedente. Estas especies no se molestan mutuamente ya que no frecuentan los mismos nichos ecológicos. Entre ellas la competencia es muy débil o casi nula. Existen hechos del mismo orden en millares de géneros.

Las experiencias realizadas por no naturalistas ponen en evidencia el papel que juega en algunos casos la rivalidad interespecífica. La imprevisora introducción del zorro de Europa (*Vulpes vulpes*) en Australia ha tenido consecuencias funestas sobre la fauna indígena, ya expuesta a los ataques del dingo (*Canis dingo*) que fue introducido por los pobladores de la isla. La mangosta (*Herpestes griseus*) introducida en Jamaica y después en La Martinica para destruir las ratas (*Oryzomys antillarum*) y las serpientes, se dedicó a esta tarea, pero a continuación la emprendió con los mamíferos y pájaros autóctonos y les infligió graves pérdidas.

El búho de las islas Seychelles, *Gygis alba*, está siendo progresivamente eliminado por un búho de África introducido por el hombre hace más de un siglo para luchar contra las ratas traídas por los barcos venidos de Nantes y de La Rochelle en el siglo XVI. El canario de Seychelles, malgache**(e22)**, importado en el siglo pasado prolifera a expensas de los pájaros autóctonos de su mismo tamaño y de similar régimen alimenticio granívoro… Esta lista podría

alargarse muy fácilmente.

Selección y demografía

La demografía, cuyo objeto es el estudio cuantitativo de las poblaciones y de sus fluctuaciones, parece *a priori* un mecanismo propicio para revelar la influencia de la selección sobre un grupo de organismos vivientes y las modalidades de eliminación. No hay que perder de vista que las causas de la mortalidad son innumerables y que no siempre es fácil o incluso posible, conocerlas. En una población natural o criada en el laboratorio, atribuir a un carácter que presentan ciertos individuos un valor selectivo cuantificando los descendientes de estos individuos, no puede ser considerado legítimo más que si la estadística concierne a poblaciones en situaciones de medio constante y bien conocidas por el observador.

La repartición, la estrategia de los genes, por tomar la expresión de WADDINGTON, ha sido analizada con minuciosidad y según las más refinadas técnicas matemáticas. La masa de documentación relacionada con la «dinámica de poblaciones» es enorme; acaba de ser sometida a una revisión profunda por SEWALL WRIGHT en su tratado titulado *Evolution and the Genetics of Populations*. Se trata de una obra fundada en las matemáticas, muy meritoria, pero que tiene el mismo valor que las ideas teóricas que la inspiran y los datos experimentales, o de otro tipo, a los que se refieren los cálculos. Por eso las matemáticas hasta ahora no han tenido valor de prueba en el dominio de la biología **[60]**.

El problema está en saber si es cierto que la dinámica de poblaciones da la imagen, resumida en el tiempo, de la evolución biológica. Aunque la idea no haya sido claramente enunciada, ha sido planteada implícitamente. Para los darwinistas, la genética de poblaciones constituye la parte fundamental de lo que han llamado, de manera imprecisa la *genética evolutiva*.

No se trata de discutir la exactitud de los cálculos efectuados por los estadísticos y los datos de la genética, sino de saber si los cálculos, las ecuaciones y los postulados genéticos conciernen verdaderamente a la evolución que revela el registro paleontológico y no a la de los doctrinarios.

Las experiencias demográficas aparecen a veces realizadas en la

naturaleza sin intervención del hombre. Hace falta que el biólogo las perciba y extraiga la información que contienen. Por ejemplo en el Norte de Canadá la caza de animales de pieles es intensa. La Compañía de la Bahía de Hudson, compra las pieles a los tramperos y lleva una contabilidad precisa. El examen de sus libros ha mostrado que las liebres (*Lepus arcticus*) y los linces (*Felix* [*Lynx*] *canadensis*) experimentan ciclos de abundancia que alcanzan su máximo cada nueve años (año más o menos). Los máximos llegan a
70 000
-
150 000
pieles para las liebres y a
50 000
-
70 000
para los linces. Los mínimos se sitúan alrededor de
15 000
.

Los linces se alimentan de liebres; su depredación se ejerce con intensidad; los máximos y los mínimos coinciden en las dos poblaciones: las presas y los cazadores. La lucha es intensa; las cifras lo atestiguan. Su efecto evolutivo es nulo. Morfológica y fisiológicamente, no cambia nada, ni en las liebres ni en los linces. Podemos repetir esta constatación para los animales migradores (excepto los Lepidópteros, los Insectos migradores mueren todos sin dejar descendencia duradera); la muerte no es diferenciadora; la acción de la selección no va acompañada de ninguna variación perceptible.

En una población en equilibrio, un determinado genotipo asegura mejor que cualquier otro el mantenimiento de este equilibrio. En consecuencia todos los individuos dotados de un genotipo diferente son eliminados, con mayor o menor rapidez, según la presión de selección que se ejerza sobre la población (sabemos que este corolario no está verificado por la experiencia. TEISSIER, 1962).

Si el medio se modifica, es otro el genotipo que conviene mejor a las nuevas condiciones y pasa a sustituir al antiguo que se ha vuelto inadecuado. Esta sustitución, evidentemente, es sólo posible

si la selección ha dejado subsistir en la población combinaciones genéticas variadas: dicho de otro modo, *si ésta no ha sido severa*. Es lo que se observa en la realidad. G. TEISSIER (1962) lo ha expresado como genético darwinista: «Un hecho muy importante a tener en cuenta para la teoría general de la evolución es que la "fluctuación génica" de nuestras poblaciones experimentales (de drosófilas) es siempre muy grande, por severa que sea la presión de selección que se ejerza, y que incluso después de transcurrido un tiempo muy largo, la selección artificial sigue siendo eficaz». Yo mismo he podido verificar la exactitud de esta afirmación. Los *Gryllus domesticus*, criados desde hace treinta y cinco años en el laboratorio y sometidos a experiencias en torno al efecto de grupo, se han mostrado heterogéneos en extremo, dando lugar a respuestas muy variadas tanto frente al agrupamiento como frente al aislamiento.

El hecho está ahí; en la naturaleza las poblaciones animales o vegetales se mantienen heterogéneas aun estando sometidas a la selección natural.

Las poblaciones de Bacterias o Insectos destruidas por un antibiótico o un veneno constituyen casos extremos: si el gen protector está presente, su portador sobrevive, si falta, el individuo muere. Si se repitiesen tales alternativas para varios genes o sus alelos se produciría un cambio rápido y desordenado de la población implicada.

En realidad, tales cambios se producen muy raramente, porque la regla de la variación no es la de todo o nada. A la selección le falta severidad y la ventaja que confieren ciertos genotipos a sus portadores es débil o incluso muy débil. Esto quiere decir que, en la población, la substitución del genotipo anteriormente adecuado por el nuevo, preadaptado, se realiza lentamente, en función del coeficiente de selectividad, que puede ser muy pequeño (para los cálculos, véanse los trabajos de SEWALL WRIGHT y otros genéticos). Recordemos que las poblaciones europeas del caracol de los bosques (*Cepaea nemoralis*) son heterogéneas en cuanto a la coloración de su concha desde hace al menos un millón de años.

La selección tiende a eliminar la heterogeneidad de la población y, por consiguiente a uniformizar el genotipo. *Conserva, más que transforma, el patrimonio hereditario de la especie*.

En suma, este asunto lo constituyen, sobre todo, especulaciones teóricas, porque las poblaciones naturales son muy heterogéneas, compuestas como están (en su mayoría o en su totalidad) de individuos heterozigóticos. Añadamos que la uniformidad de las apariencias externas disimula muy a menudo una heterogeneidad grande.

La presencia de numerosos genotipos heterozigóticos en una misma población obedece a la debilidad de la selección o al carácter neutro o indiferente de los caracteres determinados por los diversos alelos. Las dos presuntas causas actúan a menudo simultáneamente asegurando la persistencia de los distintos genotipos.

Resulta inútil recurrir a los cálculos, ya que si las poblaciones naturales se muestran tan altamente heterozigóticas al ser estudiadas, normalmente es porque la selección opera con eficacia tan sólo en el caso de genes muy nocivos, muy patógenos.

Aunque, según la teoría, en toda población una determinada combinación génica confiere a sus poseedores una adaptación particularmente exacta al medio, algunos de sus alelos influyen tan poco en la selección que pueden persistir en las generaciones sucesivas (sin tomar en consideración las pérdidas por deriva genética).

Este estado de cosas implica una tolerancia, por parte de la selección, en cuanto a la composición génica de los individuos. Si la selección se realizase con rigor, todos los genotipos, a excepción de uno (el que confiriera un máximo de adaptación), serían eliminados. En los casos de los preadaptados (resistencia a los antibióticos, a los pesticidas…), el gen «anti» carecía de reflejo en la selección antes del contacto con la droga venenosa. ¿Era por ello por lo que seguía estando presente en la población? Bien podemos preguntárnoslo.

Tras tratamientos masivos con DDT o algunos otros insecticidas, se ha constatado en diversas regiones que las poblaciones de moscas y mosquitos sensibles habían sido reemplazadas por poblaciones resistentes a estas sustancias, situación muy preocupante para los higienistas, que desean destruir a estos Dípteros. Las poblaciones de mosquitos (*Culex pipiens*) de la región de Lyon, resistentes al DDT tras varios tratamientos, vuelven a ser sensibles a él, algunos después de transcurridas 33 generaciones (ROMAN y PICHOT, 1972);

así, los culícidos (*Aedes aegypti*) de Haití, que se han vuelto resistentes a los insecticidas clorados tras tratamientos repetidos, recobraron su sensibilidad tras 150 generaciones (CALLOT, 1958). Se han observado hechos en este mismo sentido en la mosca (*Musca domestica*), cuya sensibilidad vuelve a aparecer transcurridas entre 10 y 50 generaciones. Tendrían su origen, lo mismo que su resistencia, en mutantes preadaptados **[61]**.

Estas consideraciones, que comparten a la vez la realidad y la teoría, nos llevan a admitir que en una población natural existen genes, o sus alelos, que son neutros (que no son buenos ni malos para sus portadores y, en definitiva, para la especie), que no influyen en la selección y que constituyen una reserva gracias a la cual, en caso de cambio del medio, el genotipo puede ajustarse a las nuevas condiciones.

Basta pensar en la infinidad de combinaciones genéticas posibles en la especie humana para convencerse de la exactitud de esta afirmación.

La selección elimina lo peor, las grandes taras hereditarias, las deficiencias graves… en las sociedades «avanzadas» y ricas, la conservación de genes letales y el deterioro del genotipo, dan fe de la eficacia de la medicina, que proporciona a los tarados medios para sobrevivir y procrear. Estos «progresos» se vuelven contra el hombre, minando su patrimonio hereditario y comprometiendo el porvenir hereditario de la especie a corto o a largo plazo.

La selección natural interviene en tanto que regulador del genotipo; desempeña una función de higiene genética. En lo referente a su papel de agente efectivo de la evolución, éste no es en absoluto seguro. De hecho, si poseyese el pleno poder que se le atribuye, pondría fin a la evolución. Todos aquellos no portadores de un genotipo adecuado al medio se verían eliminados. En caso de producirse un cambio del medio no habría ningún preadaptado para acomodarse a las nuevas condiciones. En resumen, la selección natural sólo sería soportable por parte de una población a cambio de que no fuera demasiado severa. Pero esto es una perogrullada.

La evolución de un grupo zoológico o botánico no es más que una suma de las reacciones de defensa a las agresiones infligidas a las poblaciones (introducción de una droga, variación brutal y extensa de un parámetro físico). Comporta la adquisición de

novedades coordinadas entre sí y ajustadas a las partes primitivas del organismo. Es la marcha de todo un grupo, animal o vegetal, *hacia una cierta forma*, hacia la adopción de un determinado modo de vida.

La selección practicada por el hombre (cultivos y domesticación)

El cultivo de plantas útiles u ornamentales, la domesticación de Aves y Mamíferos constituye un test perfecto y profundo de la mutabilidad de las especies a las que afecta. ¿Equivale por este motivo a un «fragmento» de evolución, dirigida por el hombre? Ésta es la cuestión.

De la flora de su entorno, el hombre ha elegido, aislado y favorecido, para su uso personal, algunas plantas, porque encuentra en ellas cualidades que le convienen: producción elevada de grano, de frutos comestibles. En el caso de la fauna hace lo mismo con algunos animales que son elegidos por su docilidad, por la cantidad de carne que producen…

Deseoso de obtener aún más, el hombre lo ha intentado todo para mejorar las cualidades de sus plantas cultivadas, de sus animales domésticos. Desde el Neolítico, momento en que hicieron su aparición la domesticación y la agricultura **[62]**, ha venido practicando la selección, cuya eficacia descubrió de modo empírico **[63]**.

La diferencia que existe entre la selección natural y la artificial concierne a sus respectivos fines: la selección natural opera en mayor bien de la especie, la artificial en mayor bien del hombre. Hacen uso de los mismos materiales, las mutaciones.

En la selección artificial, la elección de los progenitores es obra del hombre; en la selección natural, los más aptos, que aseguran la pervivencia de la especie, son los que han escapado a la muerte.

La selección artificial, lo mismo que la natural, no crea nada por sí misma. Selecciona lo que existe ya o lo reúne (caso de los genes o alelos múltiples dispersos en una población) en los progenitores. De este modo ha acrecentado la riqueza en butírico de la leche de vaca, el contenido en sacarosa de la remolacha azucarera, la longitud de la fibra de algodón, la longitud y finura del pelo lanoso de los

carneros, etc.

Algunas grandes mutaciones sufridas por el perro, la paloma, el buey, el carnero, el conejo, el gusano de seda, la abeja, el trigo, la cebada, el maíz, los árboles frutales, los rosales, los antirrhinum, los tabacos… han sido explotadas a gran escala. Las mutaciones incompatibles con la vida son eliminadas, como ocurre en condiciones naturales; pero el hombre conserva las variaciones teratológicas que tienen para él ya sea un carácter útil (diferentes razas de ovejas) o extraño (perros *bull-dog*, perros sin pelo… peces dorados, peces vela y telescopio, etcétera…).

La domesticación, si se refiere en términos darwinistas, aparece como una evolución acelerada y dirigida por el hombre. Acelerada, porque se conservan de golpe los mutantes juzgados aprovechables, que se convierten así en aventajados con relación al tipo salvaje. Se corresponderían con los portadores del genotipo privilegiado para la selección natural.

Los productos de la domesticación se separan en mayor o menor medida del tipo salvaje; su desviación lleva a veces a la monstruosidad. No parece probable que los perros Bichon, Yorkshire o Pequinés, abandonados a sus propios recursos pudieran salir adelante con éxito en la naturaleza. Seguramente no sobrevivirían mucho tiempo en los bosques o los campos de nuestras regiones templadas. La rata albina, el conejo angora albino y multitud de animales domesticados, puestos de nuevo en libertad, en medio del campo, morirían en pocos días.

A menudo, la forma doméstica guarda un gran parecido con la forma ancestral salvaje. Por ejemplo, el pavo de granja difiere bien poco del habitante de los bosques de Yucatán o del Sudoeste de los EE. UU.; la pintada doméstica prácticamente se confunde con la que vive en bandadas en las sabanas africanas. Estas dos gallináceas han mutado mucho menos que la gallina. La domesticación del pavo, sin embargo, es muy antigua, ya que los Mayas y los Aztecas lo criaban ya alrededor de sus pueblos (tuvieron tan sólo dos animales domésticos, el perro y el pavo). La alta mutabilidad de la gallina se pone de manifiesto en el gran número de sus razas y en sus anomalías; sin embargo, muchas razas permanecen muy próximas al tronco ancestral, que a su vez está dividido en tres subespecies geográficas: *Gallus gallus gallus* de los bosques

birmanos; *G. gallus murghi* de Cachemira meridional; *G. gallus bankiva* de Java y Bali.

Entre las numerosísimas razas de palomas domésticas, las hay que se separan mucho de su antepasado, la paloma torcaz (*Columba livia*) que vive aún en estado salvaje en lugares rocosos, mientras que otras (la paloma mensajera es un ejemplo excelente), están muy cercanas a ella. No existe barrera reproductora que separe a estas razas, aunque algunas remonten su origen a varios millones de años **[64]** .

El perro probablemente sea el mamífero domesticado más antiguo, sin duda a causa de su tendencia a adoptar al hombre como compañero social. El perro de Senckenberg (región de Frankfort-Meno) cuya osamenta, que se ha encontrado entremezclada con la de un Uro, data de hace
9000
años (estimación realizada gracias al polen que la acompañaba), tal vez estuviera domesticado. Anteriormente, en Jericó (
10 800
± 180 años, datación por C_{14}) y en Persia (Gruta de Belt,
11 480
años), vivían perros que, con toda probabilidad, estaban domesticados. Se presume que el perro se hizo comensal del hombre hacia finales del Paleolítico, en el transcurso de la última glaciación.

Los agricultores neolíticos poseían varias razas diferentes; la más común tenía un tamaño menor que los perros actuales; otra era aún más pequeña, y una tercera era claramente más grande.

Del Neolítico a la Edad del Hierro existieron en Europa cuatro grandes razas caninas:

Es posible que las razas de las edades siguientes no tengan todas el mismo origen. Algunos zoólogos designan como antepasados de los perros norteafricanos al chacal egipcio, *Canis lupaster*; pero nada es menos seguro. Los perros parias (*Canis familiaris indicus*), que viven en libertad en la India en las proximidades de aglomeraciones urbanas, y su aliado el dingo de Australia (*Canis familiaris dingo*), según recientes trabajos, diferirían poco de sus antepasados, tronco de las razas domésticas. La opinión según la

cual el perro sería un lobo modificado conserva sus partidarios, pero en el plano zoológico, pueden oponérsele serios argumentos. En cuanto al origen de los galgos, sigue siendo oscuro; es posible que esta raza mediterránea proceda de un *Canis* particular, pero por el conjunto de sus caracteres puede pertenecer a la especie *familiaris*.

El perro posee una gama de razas muy extensa debido a que se ha ejercido sobre él una selección de direcciones diversas, en función de su valor estético o exótico, o de sus aptitudes para cazar, guardar… Ha conservado así muchas mutaciones más desfavorables que útiles a la especie. Sus variaciones más importantes conciernen al tamaño (spaniel King Charles,
0,750
kilogramos; dogo de Burdeos o mastín, 50 o más kilos), la forma del cráneo (*bulldog, mops*, con maxilar superior acortado, sobrepasado por la mandíbula, más o menos deformada), la longitud de los miembros, las orejas, el color, la longitud o incluso la ausencia de pelo… Todas estas razas, por disparatadas que sean, se cruzan sin perder nada de su fecundidad. Están menos separadas entre sí que las razas geográficas de algunas especies salvajes; por ejemplo, la rana norteamericana {*Rana pipiens*) que puebla Nueva Inglaterra, cuyos huevos fecundados por esperma de la raza de Florida dan embriones abortivos o renacuajos anormales (MOORE, 1946, 1949); o la *Drosophila paulistarum* (DOBZHANSKY, 1962) que se extiende desde Sao Paulo a Méjico. Por supuesto, que la desigualdad en el tamaño se opone a veces al cruce interracial; por ejemplo, un dogo de Burdeos no puede copular con una perra King Charles, y viceversa.

De todo esto se deduce claramente que los perros seleccionados y mantenidos por el hombre en estado doméstico *no rebasan el marco de la especie*. Los falsos**(e23)** animales domésticos que se vuelven salvajes pierden los caracteres imputables a las mutaciones y, con bastante rapidez, adquieren el tipo silvestre original. Se desembarazan de los caracteres seleccionados por el hombre. Lo que muestra (cosa que nosotros ya sabíamos) que la selección natural y la artificial no trabajan en el mismo sentido.

Los conejos domésticos que el gobernador Philipp introdujo en 1788 en Australia, han encontrado en ese continente un medio

propicio a su florecimiento; se les cuenta por centenares de millones. El hecho que importa aquí es que recuerdan a nuestros conejos de campo hasta el punto de que puede uno confundirlos.

Las cabras salvajes de la isla Juan Fernández son de un tipo corriente. En América del Norte, los caballos que se han vuelto salvajes o semilibres han recuperado algunos rasgos de sus razas respectivas: alta talla, piel de colores diversos, macizo facial de perfil arqueado.

El hurón (*Putorius putorius furo*) no sobrevive en la naturaleza: los numerosos individuos que se han escapado no se han extendido. Por otra parte, hasta ahora, en *ninguna* población animal natural se ha visto a un mutante albino dominar sobre el tipo normal.

Los perros esquimales marrones**(e24)** conservan el tipo de sus antepasados, que estaban perfectamente adaptados al clima ártico. En este caso la selección artificial ha operado en el mismo sentido que la natural, a la cual ha sustituido; nada sorprendente, pues, que la raza persista independientemente de la influencia humana.

Las enseñanzas de la genética permiten decir que las poblaciones heterozigóticas, en el medio natural, pierden los alelos de los genes «forma salvaje» debido a la segregación de los caracteres (leyes de Mendel) y a la deriva genética subsiguiente, así como a la selección que se ejerce sobre ellos (eliminación de genotipos con caracteres mutados desfavorables en la naturaleza). Si son homozigóticos para sus caracteres raciales, la alternativa es triple: o subsisten tal como son o mueren, incapaces de soportar la vida libre, o sufren *mutaciones inversas* **[65]**, eventualidad que no es frecuente y que los devuelve a su estado anterior.

Tales mutaciones han sido observadas en *Escherichia coli* por LEDERBERG y TATUM (1946). A partir de cultivos de mutantes incapaces de sintetizar, por ejemplo, aminoácidos como la treonina, la leucina y una vitamina, la tiamina, aparecen con una frecuencia de 10^{-6} a 10^{-8} bacilos cólicos capaces de sintetizar esta sustancia. Se distinguen en *Escherichia coli* dos clases de mutaciones, las que conciernen directamente al gen (incluso al *locus* en la molécula de ADN) y las que son debidas a la intervención de genes supresores asentados en un lugar diferente de la molécula.

La diversidad de las razas animales domésticas, de las plantas cultivadas y su número se ven acrecentados por el cruzamiento

entre razas al que, frecuentemente, recurren criadores y agricultores; la combinación de caracteres por la hibridación y la selección acrecienta el número de genotipos y la variabilidad de la especie.

Los fenómenos a los que está sometida la reserva génica modifican, por otra parte, mucho más las apariencias que las estructuras fundamentales y las funciones. La selección artificial, a pesar de su intensa presión (eliminación de todo progenitor que no responda a los criterios de selección), no ha conseguido dar origen a nuevas especies después de prácticas milenarias. El estudio comparativo de los sueros, las hemoglobinas, las proteínas de la sangre, la interfecundidad, etc., atestigua que las razas permanecen dentro del mismo cuadro específico. No se trata de una opinión, de una clasificación subjetiva, sino de una realidad constatable. Y es que la selección, concretamente, reúne las variedades que es capaz de producir un genoma, pero no representa un proceso evolutivo innovador.

Diez mil años de mutaciones, de mestizaje, de selección, han barajado de muchas maneras el patrimonio de la especie pero sin hacerle perder su unidad química y citológica. Lo mismo ocurre con *todos* los animales domésticos: el buey (al menos
4000
años), la gallina (al menos
4000
años), la oveja (
6000
años).

La experiencia domesticación-selección no aboca, a pesar de la amplitud de las variaciones, muchas de las cuales están en el límite de lo monstruoso, a la creación de especies nuevas. Las razas no se aíslan y pueden hibridarse sin pérdida o disminución de la fecundidad. La domesticación y el cultivo revelan límites bastante estrechos entre los que varía la especie sin correr peligro, pero no imprimen un movimiento evolutivo a las especies que afectan.

La selección natural conserva los individuos que se encuentran fisiológicamente en equilibrio con el medio; mantiene, debido a esto, un cierto tipo específico. La selección que practica el hombre tiene un efecto diferente. Un ejemplo basta para mostrarlo: los

genotipos de un perro (*Canis familiaris*) y de un chacal (*Canis aureus*) están muy próximos y sufren las mismas mutaciones, más o menos. Sin embargo, la especie chacal se muestra muy estable, mientras que la especie perro se divide en numerosas razas y subrazas. La primera está sometida a la selección natural que elimina las variantes y estabiliza la especie, la segunda a la selección artificial que conserva los «anormales» y facilita la supervivencia.

Errores e impotencias de la selección

Hemos señalado ya que la hipertelia, que exagera extremadamente algunos caracteres, desequilibra la anatomía y las funciones del ser viviente hasta el punto de hacer correr a la especie un peligro real de extinción. Las formas terminales de las líneas hipertélicas son, cualquiera que sea la interpretación que se les dé, el efecto de una larga evolución en el curso de la cual la selección (a la que, por el momento, concedemos un papel activo en el proceso) no habría cesado de actuar, y siempre en el mismo sentido.

Pero, aparte de la gran hipertelia, se descubren por poco naturalista que se sea, una gran cantidad de caracteres que en lugar de ser provechosos para el individuo le son perjudiciales. Así, el ciervo posee una cornamenta tan exuberante para un animal de bosque, que el poeta ha escrito:

> *Su bosque, fastidioso ornamento,*
> *deteniéndolo a cada momento,*
> *perjudica el servicio que le dan*
> *sus pies, de quien sus días dependen.*
>
> (LA FONTAINE, *Fábulas*, VI, 9)

La velocidad no sirve de nada al herbívoro porque, sorprendido en el rastrojo o en la madriguera, es asaltado antes de haber podido huir. Su peor enemigo es él mismo. He aquí la prueba: los cérvidos o los bóvidos han adquirido, en el curso de una evolución que ha durado millones de años, glándulas cutáneas cuyas secreciones olorosas marcan el territorio, los pasos del rebaño revelan la presencia de los machos. Los órganos marcadores más

especializados son los lacrimales, hendiduras suborbitales en las cuales gotea la secreción de las glándulas preorbitarias

Desde nuestro punto de vista, las más interesantes son las glándulas tegumentarias de las patas, llamadas así según sus emplazamientos carpianas, tarsianas, metatarsianas o interdigitales. Sus productos de secreción, untuosos y perfumados, crean una pista olorosa y medianamente duradera que utilizan los miembros del rebaño para encontrarse entre sí y reconocer el territorio; pero sirven también a las grandes fieras (lobos, perros salvajes, felinos), todas macrosmáticas, para descubrir a sus presas, que estúpidamente se entregan a ellas.

Los rumiantes han sufrido una doble evolución; una les ha hecho más rápidos (modificación de los miembros, proporciones relativas de los segmentos óseos, pezuñas…), la otra, que concierne a las relaciones sociales o sexuales y a las señales químicas, les hace más vulnerables a los depredadores. Estas dos evoluciones parecen haber estado sincronizadas e implican una selección que opera en dos direcciones diferentes. Añadamos que los machos caprinos (glándulas subcaudales, infracaudales de la extremidad de la cola), del ciervo (*Cervus elaphus*), de los moruecos (*Ovis aries*), del *Lama*(e25), etc., emiten un potente olor que señala desde muy lejos su presencia, alertando a sus enemigos.

En una perspectiva lógica, es decir, antropomórfica, una selección favorable a los herbívoros habría debido hacerlos inodoros, para que las grandes fieras macrosmáticas no pudiesen descubrirlos. La evolución ha sido muy diferente y los herbívoros no están, en absoluto, muertos.

Las «aberraciones» selectivas son frecuentes; he aquí otro ejemplo: los gálagos aplican sus manos mojadas de orina sobre sus puntos de apoyo, señalando así su presencia a sus congéneres, cosa explicable dadas las particularidades sociales de estos lemúridos, pero la señalan también para los depredadores, por ejemplo, los Vivérridos arborícolas (*Poaina*, ginetas…).

Las ratas negras (*Rattus rattus*) puntúan sus pistas familiares con gotitas de orina, lo que permite a los perros ratoneros encontrarlas rápidamente, etc. Podríamos decir: «No se puede pensar en todo».

Si la selección ha conservado esas «aberraciones» se debe

constatar el error. Pero a nuestro razonamiento le falta sutileza. Un darwinista nos ha replicado que entre dos peligros, la dificultad de la conjunción de sexos y el ataque de los depredadores, la selección ha actuado sobre todo en relación al primero. Nosotros no dejaremos de pensar que la solución escogida es mediocre y que hace a la especie muy vulnerable.

No se ve cómo algunas estructuras pueden deber su singularidad a la selección. El celacanto (*Latimeria*), auténtica reliquia de la fauna permotriásica, es rico en caracteres paradójicos, tan inesperados e imprevistos que el genio de CUVIER no habría podido deducir su existencia del simple examen del esqueleto. El pulmón es una masa adiposa unida a la cara ventral del esófago. Los riñones, en parte postcloacales, y la gran cadena simpática, han abandonado la región dorsal y reposan sobre la parte ventral del abdomen. El cerebro, minúsculo, está rodeado de un espeso tejido adiposo contenido en la vasta cavidad craneana. Los huevos, gruesos como naranjas, no tienen cáscara y sobrepasan en volumen a los de los más grandes escualos ovíparos. No se ve, en absoluto, qué papel ha podido jugar la selección en el establecimiento y la conservación de estos caracteres paradójicos.

La selección natural o la finalidad en acción

Los darwinistas, siguiendo en esto al padre de su doctrina, sitúan el eje de la evolución en la persistencia de los más aptos, es decir, de aquellos que están mejor provistos y que llevan los caracteres compatibles con la vida en un medio dado. Asignar a la evolución la selección natural como agente efector es, implícita y explícitamente, darle un sentido, un fin. Cuando los darwinistas sostienen que la finalidad observada en los fenómenos biológicos es sólo una ilusión, olvidan o desconocen el fundamento mismo de su interpretación de la naturaleza, fundamento lleno de consecuencias filosóficas. Haciendo de la selección el motor de la evolución de los más aptos, confieren una finalidad inherente a todo ser viviente, finalidad que se convierte en la ley suprema del individuo, de la población y de la especie. En verdad, la doctrina darwinista no ha sido sometida aún a un examen crítico profundo.

Decir que la selección natural no es intencional, porque no se ve «nada» ni «nadie» dirigiéndola, no es una objeción a tener en

cuenta. En efecto, si la selección carece de intención, es por tanto aleatoria. Los darwinistas y sus discípulos biomolecularistas recurren a ella para utilizar materiales fortuitos en provecho de la especie; la selección es, por tanto, selectiva y orientada. Curiosa actitud intelectual que consistiría en sustituir un azar por otro. Pero seamos formales, la selección no es un fenómeno aleatorio. Es, por su propia naturaleza, un fenómeno teleológico.

Como no se ve a nadie conducirla, los darwinistas estiman que esto basta para declararla no intencional. *Error filosófico gravísimo* y propiamente antropomórfico puesto que la doctrina darwinista consiste en hacer de la selección una entidad activa y transcendente.

Cómo hablar, después de esto, de pseudoteleología, de teleonomía (término que, etimológicamente, significa leyes del fin). A la finalidad de hecho o finalidad inmanente, los darwinistas añaden además una finalidad de un orden superior, inherente a la vida y constantemente activa: en la biosfera se presenta con los caracteres de una finalidad trascendente. Ningún sistema biológico o filosófico ha ido más lejos en la «terminalización**(e26)**» de los seres vivientes.

El acto selectivo es inseparable de un fin, ya sea dirigido por el hombre en el caso de la selección artificial, o tenga a la muerte —la muerte no golpea al azar, todo lo contrario— por agente eficiente en el caso de la selección natural.

«Finalizar» la vida, esta es en realidad la función misma de la selección.

LAMARCK atribuye al organismo en sí la facultad de ser su propio adaptador a su medio exterior. Aquí aún nos encontramos en presencia de una interpretación que recurre a un mecanismo «terminalizador».

Cuando penetramos en el terreno de lo viviente, reconozcámoslo, la finalidad inmanente se muestra, más o menos, en todas las estructuras o funciones y en todos los sistemas reguladores, la selección natural, la facultad de autoadaptación, y aparece como si fuera el agente de una finalidad de tipo trascendente.

La erradicación de la finalidad en la biología es una vana empresa; vana porque va en contra de la realidad y porque aquellos

que la emprenden se inspiran en teorías o tesis filosóficas que no tienen en cuenta los hechos.

Conclusión

En la naturaleza, la selección ejerce su acción sobre las especies, eliminando lo «peor», los tarados, los inválidos… Ahí está su principal efecto.

La rivalidad interespecífica juega un papel esencial en la distribución espacial de las poblaciones y especies. Interviene en algunas desapariciones y limita el número de las especies simpátricas. Se trata, generalmente, de equilibrios locales; el desenlace de la lucha no es el mismo en todas partes; aquí la especie es expulsada de un biotopo, allí sale victoriosa y próspera. En consecuencia, las especies están tanto más amenazadas en su existencia cuanto más restringido es el territorio que habitan. Las faunas de las islas de pequeñas dimensiones son muy sensibles a la introducción de especies extrañas. Las Aves ápteras (Rálidos columbiformes) **[66]** que prosperaban en los archipiélagos del Océano Índico antes de que los poblase el hombre no han podido sobrevivir ante los depredadores llegados de Europa. Pero el hombre ha destruido tantas especies insulares que es difícil apreciar la parte imputable en su destrucción a los demás depredadores.

Los hechos que se refieren de cerca o de lejos a la selección conciernen mucho más al poblamiento de nuestro planeta que a la evolución biológica. Confundir los dos es cometer un error. La pretendida «evolución en acción», de J. HUXLEY y otros biólogos, no es más que la constatación de hechos demográficos. ¡A menudo se trata de especies que no han cambiado prácticamente desde hace millones de siglos! La fluctuación en función de las circunstancias con modificación previa del genoma no implica evolución, *y tenemos una prueba tangible de esto suministrada por numerosas especies pancrónicas: Colémbolos poduriformes, Blátidos, Hiracoides, Bacterias, etc*.

Las diferencias génicas puestas de manifiesto entre poblaciones separadas de una misma especie, que se ofrecen tan a menudo como prueba de una evolución en marcha, manifiestan, ante todo, el ajuste de las poblaciones a su hábitat y los efectos de la deriva

genética. *Drosophila melanogaster*, insecto favorito de los genéticos, del cual conocemos precisamente los fenotipos geográficos, biotópicos, urbanos y de campo, no parece haber cambiado desde tiempos muy remotos.

6. Adaptación y evolución

Consideraciones generales

A la noción de adaptación le falta precisión porque la coordinación de una estructura con su función, de una función con el medio, se mide con dificultad y no es fácil expresarlo en términos cuantitativos.

Cuando biólogos y filósofos aprecian el grado de una adaptación fundándose en nuestra lógica y no dudando en formular juicio de valor, cometen una falta metodológica y caen en un antropocentrismo a veces insospechado.

El determinismo pueril de BERNARDINO DE SAINT-PIERRE**(11)** que descubre en todo la intervención de una Providencia generosa, ha hecho mucho daño a la causa de la adaptación. En realidad, han sido numerosos los naturalistas que sostenían un determinismo parecido, aunque más discreto. Los partidarios de DARWIN, como POULTON y otros, en su deseo de encontrar una función y una utilidad a todo los órganos y a todos los actos de los animales, han demostrado tanta ingenuidad como los antedichos deterministas, ya que no hay que olvidar que la omnipresencia de la adaptación tiene como corolario el que todo órgano y todo mecanismo fisiológico tenga una acción favorable para el individuo o para la perpetuación de la especie. Ésta es, por otra parte, la creencia de los darwinistas modernos desde TH. H. MORGAN a E. FORD. Para ellos, la adaptación está en todo y sin ella la vida no es posible. En efecto, no podrían existir seres vivo inadaptados, no serían viables, pero debe recordarse que todo ser vivo es un complejo en el que los diversos constituyentes no están igualmente adaptados a las funciones que asumen. En lugar de la idea de perfección se prefiere utilizar la de «compatibilidad» con la vida, que es más relativa y corresponde

mejor a la realidad.

Todo ser vivo constituye un complejo fisicoquímico que posee la facultad de mantenerse en equilibrio con el medio si éste no sufre variaciones demasiado fuertes. El espectro de condiciones fisicoquímicas compatibles con la vida es estrecho.

La adaptabilidad se presenta como una propiedad sin la cual el ser vivo no subsistiría. Llámese homeostasis o autorregulación, lo que importa es reconocer su papel. Depende de sistemas que se ajustan entre ellos de tal manera que la economía del ser, a despecho de las variaciones de su ambiente, no sufra alteraciones.

Los sistemas autorreguladores son múltiples y actúan a niveles de organización diferentes: moléculas, células, órganos, aparatos orgánicos. Aunque en todos los casos los materiales son iones, átomos o moléculas, sus efectos conciernen también a partes pertenecientes a un rango más elevado. La biología molecular con sus represores, sus genes de estructura, describe sistemas reguladores a nivel génico; las hormonas estimulan algunos genes y, finalmente, trabajan a nivel de los órganos utilizando enzimas como agentes intermediarios.

Los sistemas bioquímicos a los que hacemos alusión y que participan en la vida normal de la célula y del organismo considerado como una unidad, no son los únicos reguladores de que dispone el animal. La defensas contra las proteínas extrañas introducidas en el organismo por un parásito, virus, bacteria, animal uni o pluricelular u hongo, consiste en un conjunto de reacciones, o inmunidad, que en muchos casos consigue destruir el parásito o neutralizar su acción patógena.

Las regulaciones conciernen también a los órganos e incluso a partes importantes del ser. Algunos huevos (erizos de mar, algunos Hydrarios…), cortados en dos, incluso en cuatro por planos que pasan por el eje polar del animal, es decir, por el polo vegetativo, dan tantos embriones normales y completos como fragmentos se hayan hecho. Estos huevos se dice que son de *regulación total*.

La regeneración de las partes perdidas es igualmente una regulación. Está desigualmente repartida en los dos reinos; presenta una frecuencia incomparablemente más pequeña y una potencia menor en los animales que en los vegetales, en los que muy a menudo es responsable la reproducción asexuada.

La adaptación de grandes funciones a las condiciones del medio gracias a la intervención de mecanismos reguladores es universal; es la condición *sine qua non* de la supervivencia, mientras que las adaptaciones a las condiciones particulares se muestran irregulares en su repartición y desigualmente eficaces.

Por ejemplo, las especies de Peces llamados eurihalinos, que pueden vivir en aguas de salinidad diferente, son una minoría; poseen o bien un sistema protector que les permite pasar de un medio hipotónico (agua dulce) a un medio hipertónico (agua de mar) con respecto a su medio interno (caso de las anguilas, cuyo mucus cutáneo las aísla del medio exterior), o bien un mecanismo que se opone a la excreción de sus propias sales (salmón y otras especies dulceacuícolas). La inmensa mayoría de las especies están estrictamente vinculadas a una determinada salinidad (Peces estenohalinos) que va del agua dulce al agua de mar, pasando por el agua salobre a la cual están adaptados algunos Peces.

El considerar la tasa de supervivencia de los individuos en función de algunos caracteres, como se hace para evaluar los coeficientes de selectividad, no está desprovisto de valor; pero la adaptación es a menudo demasiado sutil como para reflejarse de una manera apreciable en las tablas demográficas de una especie dada. Otros factores más enérgicos disimulan o anulan su eficacia.

La casi imposibilidad de apreciar el valor práctico de la adaptación explica los desacuerdos que surgen entre los biólogos sobre este tema.

A pesar de las legítimas reservas que conviene tener sobre la utilidad atribuida (un poco a la ligera) a algunos órganos, funciones y conductas, sería absurdo poner en duda la realidad y la enorme importancia de las concordancias, tanto orgánicas como funcionales, que existen entre el ser viviente, su medio y su modo de vida.

Relaciones de la adaptación con la selección

Toda la teoría de la evolución debe explicar, aparte de las transformaciones orientadas de los seres vivientes, las susodichas concordancias que han recibido según la época, los nombres de ajuste, armonía y adaptación.

LAMARCK y DARWIN, padres del evolucionismo, han propuesto,

cada uno a su manera, una explicación de la adaptación. Según el primero, el ser viviente reacciona a la acción que el medio ejerce sobre él. Por una vía fisiológica, psíquica u orgánica, responde a la agresión o a la estimulación procedentes del exterior. Su respuesta es tal que puede sobrevivir.

Según DARWIN y sus seguidores, selección y adaptación están estrechamente ligadas; la segunda resulta de la primera, la cual *armoniza* las relaciones del ser viviente con su medio.

La selección, concebida de esta manera, toma exactamente el lugar y las funciones que BERNARDINO DE SAINT-PIERRE, en su sistema antropocéntrico, asigna a lo que él llama tanto Naturaleza como Providencia. La selección (el antiazar de los darwinistas) trabaja para la mayor gloria de la especie. El buen Bernardino no va tan lejos, constata sencillamente que «nada ha sido hecho en vano»; es menos comprometedor [67].

El ser organizado se presenta como un sistema que *obligatoria y constantemente* se mantiene en equilibrio con el medio exterior. No sólo crea entropía negativa, sino que, mediante dispositivos autorreguladores, establece un compromiso, un *modus vivendi*, entre él y su entorno. El equilibrio es continuo; una palabra de sentido más amplio lo designa con más precisión: la *regulación*. Esta concierne a todas las actividades del ser viviente. He aquí algunos ejemplos.

El comportamiento del animal está sometido a un control muy estricto. Los mensajes que vienen del mundo exterior, registrados por los órganos sensoriales, son trasmitidos al sistema nervioso que los trata y los integra, desencadenando después reacciones automáticas y *apropiadas* que colocan el organismo en condiciones compatibles con la vida. La sensación es, a la vez, el informador y (como ha dicho HENRI PIERON) el «guía de la vida», siendo esto tan cierto para la ameba como para el hombre.

La reacción reguladora es una característica fundamental, pero difícilmente mensurable, de ese fenómeno epigenético que llamamos vida.

Los factores fisicoquímicos (calor, humedad, ionización atmosférica, sustancias químicas diluidas en el aire o en el agua) actúan con fuerza sobre el conjunto del ser viviente; su cambio influye tanto sobre el metabolismo como sobre la conducta.

Consideramos, a título de ejemplo, las reacciones inmunitarias «defensivas» provocadas por la introducción en el organismo de sustancias proteínicas extrañas, ya procedan de parásitos internos, ya formen parte de los alimentos. El animal atacado responde produciendo, gracias a las células del sistema reticuloendotelial y a los glóbulos blancos de la sangre, anticuerpos que se combinan con esas sustancias y las hacen inofensivas. Es una reacción de autoadaptación puramente química.

En el organismo, el leucocito móvil es activado por sustancias disueltas en el plasma sanguíneo o en el líquido intercelular que entran en contacto con él, lo atraen y provocan su reptación, orientándolo. Este comportamiento celular se desarrolla con un automatismo total.

Es difícil no asimilarlo a un proceso «finalístico», y esto sin caer en el antropomorfismo; se puede uno sentir tentado de afirmar que los leucocitos que se hartan de microbios patógenos defienden al organismo como los ciudadanos que toman las armas para defender la ciudad. Esto es, en todo caso, lo que expresan los manuales y tratados clásicos de alto nivel.

Los darwinistas sostienen que esta defensa del organismo ha sido organizada poco a poco por selecciones sucesivas. Si esto es verdad, la selección actúa como agente trascendente y profético de la finalidad biológica.

Pero la selección no es una entidad; no puede dotársela de una facultad de discriminación. Su instrumento de trabajo lo conocemos; es, ante todo, la muerte…, la muerte que alcanza a los tarados, los insuficientes de todas clases, los inadaptados, los débiles. El ser viviente muere porque no se «aviene» con su medio. Todo ocurre como si la muerte actuase con miras a un fin que la rebasa, pero cuya realidad se expresa en las tablas del demógrafo. En tanto que agente diferenciador, trabaja a la manera de un guardia; mantiene el orden biológico, sanciona todo delito, toda falta que lo comprometa. Se convierte al mismo tiempo en salvaguardia de las poblaciones, tanto vegetales como animales; protege a la especie contra las desviaciones que pondrían en peligro su porvenir y, por paradójico que pueda parecer, la muerte salva a la especie al conservarla pura y sana.

La demografía enseña que en la naturaleza las pérdidas son casi

siempre considerables. En una población estable, a una pareja sucede una pareja y sólo una; los demás individuos desaparecen antes de poder procrear.

La muerte tiene, por tanto, el primer papel en el ejercicio de la selección que, sin embargo, dispone de algunos otros agentes eficientes, entre los que la *fecundidad diferencial* es el más importante. En una población inestable y heterogénea compuesta de dos variedades o especies que vivan juntas, la más fecunda, después de un cierto tiempo, calculable según los efectivos censados, dominará sobre la otra; suponiendo, claro está, que las dos tengan el mismo coeficiente de selectividad.

Finalmente, aparece la adaptación como dependiente del funcionamiento de medios muy variados, los unos inscritos en el genotipo de la especie, pertenecientes los otros al ambiente.

Los límites de la adaptación

Se atribuye una gran importancia a la facultad que posee todo ser vivo de adaptarse a las circunstancias, al medio. Ésta da, sin embargo, resultados imperfectos y sus límites son rápidamente alcanzados a poco que las variaciones del entorno sobrepasen ciertos umbrales: las pérdidas enormes sufridas por la especie y debidas a la acción exterior lo atestiguan. La selección, a falta de materiales adecuados, se muestra incapaz de dotar a la población de propiedades que la pongan en equilibrio con el medio.

Las enfermedades infecciosas concretizan las deficiencias de la adaptación: las facultades inmunitarias del ser son impotentes para sojuzgar la invasión parasitaria, bacteriana o viral.

Los límites de la adaptación se evalúan imponiendo al ser vivo grandes cambios en su medio. Así, pocos animales pluricelulares tienen la posibilidad de pasar de la vida aerobia a la anaerobia; accidentalmente, algunos Insectos; en cuanto a los Helmintos, son normalmente anaerobios, el oxígeno libre es un veneno para ellos. La respiración pulmonar en los Reptiles, Aves y Mamíferos es excluyente de cualquier otra, mientras que los Anfibios Urodelos respiran más por su piel, a condición de que esté húmeda, que por los pulmones, cuya supresión no trae consigo la muerte del animal. Por el contrario, en una atmósfera seca su piel se endurece, se vuelve impropia para el intercambio gaseoso y el animal muere. Los

Pletodóntidos, todos norteamericanos a excepción del género europeo *Hydromantis*, son normalmente aneumonados, viven en el agua o en lugares muy húmedos; su piel asegura por sí sola los cambios respiratorios. *Aneides lugubris* respira sobre todo por los dedos, bajo la piel de los cuales se extienden los senos sanguíneos.

La adaptación, frecuentemente, supera el simple acuerdo entre la estructura y la función; utiliza entonces para producir su efecto medios complejos y sutiles. Pensamos en la forma en que algunos gusanos planos y los Gasterópodos Opistobranquios ponen a su servicio las armas que toman de sus víctimas.

Las planarias del género *Microstomum* (Tuberlarios archooforos), cuyas numerosas especies viven unas en agua dulce y otras en el mar, tienen una alimentación a base de presas vivas entre las cuales se encuentran los Hydrarios, que tienen en el cuerpo abundantes células urticantes de veneno muy activo. Las hydras son comidas y digeridas hasta que sus cnidoblastos (aparatos venenosos de las células urticantes) quedan intactos y libres en el intestino del gusano. Estos minúsculos aparatos son capturados por los pseudópodos que envían las células de la pared intestinal a la cavidad de la víscera. Las células intestinales las expulsan al tejido mesenquimatoso que rellena los espacios interviscerales. Allá son fagocitados por células móviles que los transportan hasta el tegumento formado por células ciliadas y glandulares. Las células tegumentarias los cogen de tal manera que su extremo se vuelve hacia el exterior donde sobresale. Una excitación mecánica de este extremo provoca su descarga (MEIXNER, 1923, sostenía que los cnidoblastos no explosionaban, pero KEPNER y NUTTYCOMBE, 1929, 1938, han mostrado que estos aparatos venenosos eran perfectamente funcionales).

Cuando *Microstomum* ha agotado sus municiones, come de nuevo hydras y obtiene así cnidoblastos que se distribuyen uniformemente sobre la superficie de su cuerpo; cuando su número es suficiente, el gusano no ataca a las hydras, que no parecen ser su presa preferida.

Los Moluscos Gasterópodos Opistobranquios eolidios**(e27)** poseen, en su mayoría, largas papilas en su cara dorsal. Estas papilas huecas en las que penetra una prolongación de la glándula digestiva, se abren o no al exterior. La cavidad de las papilas se

llena de nematocistos que, como en los *Microstomum*, proceden de los hydrarios sobre los que se arrastran los Eolidios y sobre cuya superficie pacen. Los aparatos urticantes se insinúan entre las células de la pared de las papilas, al mismo tiempo que sufren una cierta degeneración; se convierten en cnidoblastos, y cuando están maduros se desprenden de la pared y permanecen en la cavidad de la papila. Cuando un enemigo amenaza al Eolidio, una contracción de la pared los expulsa. En las especies de papilas cerradas hacia el exterior, la papila se desprende del cuerpo y libera los cnidoblastos (BURGIN-WYSS, 1961).

Estos comportamientos celulares, preparados y ejecutados con una precisión extrema, muestran la perfección que alcanza la adaptación y sus relaciones estrechas con la finalidad inmanente de los seres vivos y sus constituyentes.

No todo es óptimo en el ser vivo

Los principios mismos del darwinismo de ayer o de hoy conducen fatalmente a atribuir al animal o al vegetal, si no la perfección anatómica y funcional, por lo menos una tendencia constante hacia este estado. Esta idea inspira los trabajos de los darwinistas modernos T. H. MORGAN, R. A. FISCHER, E. R. FORD y otros. JULIAN HUXLEY desplegó mucho talento para desarrollar y defender el principio de la universalidad de la adaptación.

Lo mismo que él, constato la presencia de la adaptación y, tanto como él, proclamo que el ser vivo no puede prescindir de ella. Para no ver el acuerdo que en la mayoría de los casos reina entre la estructura y la función, o entre ambos y el modo de vida que lleva el ser vivo, hay que estar ciego. Pero la adaptación no alcanza siempre la perfección y, a menudo, hay órganos aparentemente inadaptados, inútiles, incluso nocivos.

JULIAN HUXLEY, en la página 478 (edición de 1945) de su obra maestra (*Evolution: the modern synthesis*), encabeza el párrafo 8 del capítulo 8: «Adaptation and selection not necessarily beneficial to the species, —y desde las primeras líneas escribe—: So far, we have been discussing adaptation more or less *in vacuo*…».

La lectura de este capítulo deja la impresión de que su autor no lo ha escrito con alegría y que al redactarlo cumplía su deber de hombre de ciencia, pero que éste no le llevaba hasta el punto de

criticar su propia doctrina.

HUXLEY no da como ejemplo de adaptaciones defectuosas más que casos anodinos, cuya importancia reduce recurriendo a artificios tales como la selección intermedia, mitad intraespecífica, mitad interespecífica, de una *intergroup selection* y otras entidades de circunstancia. Compara la selección a un dios que crea indiferentemente lo mejor y lo peor, lo sublime y lo horrible. Para confirmar su interpretación, he aquí lo que escribe: «We need only think of the ugliness of *Sacculina*, or a bladder-worm, the stupidity of a rhinoceros, or a stegosaur, the horror of a female mantis devouring its mate or brood of ichneumon-flies slowly eating out a caterpillar» (pág. 485, 1945)**(e28)**.

Estos ejemplos elegidos por HUXLEY no demuestran que la evolución sea falible; chocan con nuestras concepciones humanas, lógicas, morales o estéticas, pero nuestro juicio de valor no tiene nada que ver con la evolución.

Hoy sobreviven únicamente los seres vivos, que son los elegidos del antiazar benefactor que es la selección natural; haya actuado ésta brutal o progresivamente, el resultado es el mismo.

Sin embargo, constatamos que hay dispositivos anatómicos, mecanismos fisiológicos, que no son buenos para la especie; el biólogo debe entonces buscar la causa «malintencionada» que contrarresta la selección natural, suponiendo que ésta sea omnipresente.

La evolución falible

Si la selección ejerce a sabiendas su vigilancia, ¿cómo puede ser que muchas líneas, a lo largo de las edades, se hayan comprometido en vías que las han puesto en peligro?

Y, sin embargo, a menudo ha ocurrido así, lo que explica que sean numerosas las familias y órdenes extinguidos. La evolución, qué duda cabe, ha tenido «fracasos» y, a veces, ha conducido a catástrofes.

Ninguna línea extinguida permite descubrir las causas de su desaparición. La paleontología no restituye las condiciones en las que vivían los organismos. Sin embargo, se observa que las especies desaparecidas han tenido en común órganos particulares, muy especializados y excesivos para su desarrollo. Nos sentimos

inclinados a atribuir a estos excesos un papel, si no preponderante, al menos importante, en su extinción.

Se evoca fácilmente a este propósito el ejemplo clásico de los Titanoterios o Brontotheriidae, que, partiendo de animales del tamaño del zorro, terminaron por alcanzar el de un elefante. A medida que crecían adquirían potentes cuernos y protuberancias craneanas óseas. Con un macizo facial enorme y una pequeña cavidad craneana sufrían, manifiestamente, un desequilibrio anatómico. Su existencia a escala de la historia de la Tierra fue breve: del Eoceno al Oligoceno medio, algo menos de tres millones de años.

Un ejemplo más significativo es el de los Rudistas. Estos Moluscos Bivalvos fabricaron conchas de un espesor considerable, acumulando el carbonato cálcico como ningún otro animal lo hizo jamás. Su historia comienza en el Rauraciense y termina en el Daniense al final de la Era Secundaria, por tanto no duró más de 76 millones de años. Los Rudistas vivían en arrecifes de coral en aguas cálidas y transparentes, como en las que viven, en los mares del sur, los Moluscos Bivalvos más grandes, las tridacnas, los corales y los peces de colores brillantes.

Algunos paleontólogos, remontándose atrás en el tiempo, creen descubrir a los primeros antecesores de los Rudistas entre los Bivalvos preheterodontos del género *Megalodon*, del Devónico al Trías, y *Protodiceras* del Lías. Esta evolución se traduce, sobre todo, en una simplificación de la charnela que se manifiesta ya en *Diceras*, el más antiguo de los Rudistas indiscutibles. «Se ha podido así emitir la hipótesis de que, desde el Devónico, un grupo de Lamelibranquios preheterodontos se comprometió en la vía que conduciría a los Rudistas» (DECHAZEAUX, 1960, *Traité de Zoologie*, tomo V, fase. 2, pág. 2147).

Los ascendientes directos de los Rudistas debían parecerse a los *Diceras* de concha espesa y valvas desiguales en forma de cono alargado y retorcido como el cuerno de un antílope. Se puede establecer que los Rudistas se emparentan con los Bivalvos Eulamelibranquios heterodontos. Muy pronto se escindieron dos líneas sobre cuya homogeneidad no hay grandes garantías. En una de ellas, la más rica en familias (cinco, que son casi pequeños fila) y en géneros (57 descritos hasta 1949), el molusco se fija a su soporte

por la valva derecha, en la otra por la valva izquierda. Sin exponer en detalle su evolución señalaremos algunas formas «extravagantes» de la primera. En algunos géneros, la valva derecha se convierte en un cono enorme y macizo que alcanza hasta medio metro de alto; la izquierda hace la función de tapadera u opérculo y es mucho menos espesa. La charnela se compone de un diente flanqueado por dos fosetas sobre la valva derecha y de una foseta entre dos dientes en la valva izquierda. Los dientes, muy largos, se hunden en profundas depresiones. Tal dispositivo no permite a las valvas efectuar una rotación alrededor de la charnela, que haría de eje; la valva opercular sólo puede elevarse o descender en el sentido vertical. Por mi parte, comprendo mal cómo podría entreabrirse esta pesada concha sin la intervención de un potente ligamento elástico antagonista de los músculos aductores, que como indica su nombre, al contraerse acercan las valvas y cierran la concha. De todas maneras, la abertura entre las valvas se reducía a una hendidura que dejaba pasar a la cavidad paleal justo la cantidad de agua necesaria para traer el plancton del que se alimentaba el Lamelibranquio (se admite que los Rudistas no poseían sifones). Las necesidades alimenticias de los Rudistas más evolucionados debían estar apenas cubiertas; la menor disminución de plancton podía comprometer su supervivencia.

Los últimos Rudistas han sido encontrados en sedimentos danienses de Cataluña cuya sedimentación continua y uniforme (desde el Senoniense) se opone a una hipotética destrucción debida a un cataclismo.

No teniendo la pretensión de descubrir las causas precisas de esta extinción, nos basta con constatar que durante más de 70 millones de años, un grupo de Moluscos ha sufrido una evolución dirigida, canalizada hasta el extremo que no puede ser considerada favorable para el susodicho grupo puesto que terminó produciendo su total desaparición.

Esta historia enseña que una evolución falible en cuanto a la persistencia de la línea, se muestra tan coherente y constante en su dirección como la evolución más favorable a la especie. Esta enseñanza tiene una gran importancia.

Es bastante poco probable que la selección, a pesar de las vicisitudes de los océanos, las variaciones de temperatura, de

salinidad, haya controlado y mantenido la dirección de tal evolución. La intervención de factores internos se impone a nuestra razón. Volveremos a tratarlos.

El nacimiento, el prodigioso apogeo y el fin catastrófico de los Dinosaurios no son menos instructivos que el destino de los Rudistas.

Estos Reptiles poblaron todos los medios terrestres y vivieron del Trías al Daniense, época en la que todos desaparecieron por razones desconocidas. La mayor parte de ellos, sobre todo las especies terminales, tendían manifiestamente en su gran mayoría, a una hipertelia generalizada (desarrollo excesivo por encima de su «objetivo»): «gigantismo» de tamaño, hipertrofia de los «apéndices» cefálicos, de las corazas, pequeñez del cerebro, enormidad de los centros medulares, gran tamaño y fragilidad de los huevos… Pero, el detective, aunque sea Sherlock Holmes, está atado a los datos, y reconstruir una situación que se remonta a 100 millones de años atrás, es para él una empresa extremadamente difícil, quizás quimérica.

De nuestras interpretaciones todo es discutible**[68]**. Así, la hipertrofia de los centros medulares que da predominancia a los actos reflejos sobre cualquier otra reacción de comportamiento, ha sido considerada como desventajosa para el animal porque lo entrega a un automatismo que le hace poco adaptable a las circunstancias. Se puede, con la misma verosimilitud, sostener la tesis opuesta y asegurar que esta hipertrofia medular era ventajosa para la especie ya que neutralizaba algunos malos ejemplos del gigantismo. En todo organismo de gran tamaño, las distancias que recorre el impulso nervioso para alcanzar el cerebro son muy largas. De la misma manera, los mensajes sensoriales le llegan con menor rapidez. Los centros medulares, por su situación, reducen la longitud de los trayectos nerviosos y acortan los tiempos de latencia; a una escala reducida, el mismo fenómeno se observa en la cadena nerviosa de Hirudíneos, Moluscos, Crustáceos, Insectos, en que los ganglios se convierten en importantes centros reflexógenos: por ejemplo, el ganglio metatorácico de los Ortópteros saltadores que dirige la autonomía de las patas posteriores. Los axones gigantes permiten las transmisiones ultrarrápidas de los *impulsos*. No es imposible que los Dinosaurios los hayan tenido; en ellos los

impulsos nerviosos circulaban más rápido que en los axones pequeños.

El estado físico de los Dinosaurios no era tan malo, ya que incluso los más gigantescos han durado decenas de millones de años, lo que no es despreciable desde la perspectiva de la vida humana y de la historia de nuestro globo.

La evolución de los Dinosaurios no fue en absoluto aleatoria. Es posible que los grandes conjuntos Sauripelvianos y Avipelvianos que los componen no procedan de los mismos antecesores, no vamos a discutir aquí este problema. Cada uno de estos grandes subórdenes se diversificó en varias líneas que prosperaron en casi todos los medios. Algunas dieron lugar a temibles depredadores, las otras a herbívoros, las más grandes criaturas terrestres. Se conocen corredores bípedos, los *Struthiomus*(e29) o lagartos-avestruces, formas bípedas tales como *Iguanodon*, comedores de hojas…

Se ha atribuido al gigantismo de los Dinosaurios tanto sus hipertelias como su desaparición total a lo largo del Daniense, en un lapso de tiempo bastante corto. No es totalmente correcto ya que no todos eran gigantes: los *Protoceratops* del Cretácico superior de China medían alrededor de
2,40
metros de largo; el cráneo de los *Velociraptor* y *Saurornithoides* no sobrepasaba los
20 cm
de longitud; los *Anastosaurus* tenían un cráneo de
40 cm
de longitud, dimensión que alcanzan corrientemente los de los cocodrilos actuales.

Si bien la paleontología no diagnostica la causa o las causas que provocaron la extinción de esta fauna poderosa, distribuida por toda la Tierra, suministra, sin embargo, bastantes documentos como para suponer que, por sus exagerados caracteres, los Dinosaurios debían chocar con grandes dificultades para adaptarse a los cambios de circunstancias y para alimentarse.

Ahora bien, sus líneas prosiguieron su marcha hacia tipos cada vez más hipertélicos y esto durante decenas de millones de años. Esta perseverancia por llegar a un estado cada vez más desequilibrado es un fenómeno por lo menos extraño. Si es debida a

la selección, debemos admitir que ésta puede hacerse contra los intereses de la especie y condenarla a la extinción. Seleccionar lo peor es posible, pero no es lo que enseña la doctrina de DARWIN.

Como la historia de los Dinosaurios ha sido larga, la selección «darwinista» para el mayor bien de la especie ha tenido tiempo para comprometer las diferentes líneas en vías no defectuosas. ¿Por qué razón no lo ha hecho? La principal podía ser no su ineficacia sino su inexistencia. Si no estamos seguros de que la desaparición de estos Reptiles sea debida a sus caracteres hipertélicos, sabemos, por el contrario, que las especies gigantes poco fecundas son frágiles y se defienden mal de los microorganismos y de la intemperie o las variaciones del clima.

La adaptación muy avanzada hace a la planta o al animal muy dependiente de su medio, de su modo de vida. Si la especialización se hace limitativa, prohíbe al ser vivo cambiar de costumbres, de biotopo, detiene la evolución y condena a la especie al confinamiento. Hace a los individuos cada vez menos plásticos y en caso de cambio de medio, compromete su supervivencia. Ahora bien, según afirman los darwinistas, la adaptación es el fruto de la selección. Si esto es cierto, se concluirá que la selección muchas veces no trabaja en bien de la especie, sino todo lo contrario; su finalidad está entonces viciada.

Los animales muy cosmopolitas (cucarachas, ratas… y el hombre) no sufren una especialización excesiva. Sus posibilidades de subsistencia en medios muy diferentes confiere a sus especies una gran esperanza de vida.

Los órganos indiferentes o inútiles

Si, en general, se descubre con más o menos facilidad el papel que juega tal o cual carácter anatómico o fisiológico, tal o cual órgano, se constata que para algunos su *inutilidades* flagrante; aparecen como detalles, como florituras aplicadas sobre las estructuras fundamentales.

He aquí algunos ejemplos: el corte del limbo de las hojas, el color del iris en el ojo humano, la consistencia de los cabellos (lisos, ondulados, lanudos…), el grupo sanguíneo, etc., no tienen relación con la longevidad del individuo o con su adaptabilidad a las circunstancias.

Se ha levantado una controversia entre darwinistas ortodoxos para saber si las bandas negras o marrones que adornan la concha de los caracoles de los bosques y jardines (*Cepaea nemoralis* y *C. hortensis*) tienen importancia en la selección (LAMOTTE, 1951, 1966; CAIN y col., 1950-68).

Estas bandas, según el color y el dibujo del sustrato, harían a los caracoles más o menos visibles a los pájaros diurnos malacófagos. Recientemente, en Perigord, hemos observado los «yunques» (piedras aplanadas) sobre las que el zorzal (*Turdus philomeles*) rompía la concha de los caracoles de los que se nutre. Las conchas pertenecían a *Helix aspersa* y a *Cepaea nemoralis*, variedad amarilla uniforme y variedad rayada (tres amarillas por una rayada). Las conchas recogidas se encuentran en las siguientes proporciones: 4 para la primera, 1 para la segunda y 0,33 para la tercera. Ahora bien, las de *Helix* se confundían mucho mejor con el fondo (piedra e hierbas secas) que las de *Cepaea nemoralis*, especie más abundante. Los zorzales cazaban los caracoles a primeras horas de la mañana una vez salido el sol, cuando el rocío es abundante.

Consideremos que los caracoles (salvo después de lluvias torrenciales) salen sobre todo de noche y que su peor enemigo es el erizo, que en la oscuridad no ve los colores. La mayoría de los caracoles, después de comer se meten en un escondite donde escapan a la vista. Se comprende que la ventaja o desventaja conferida por las bandas sea mínima o incluso nula.

Han sido exhumadas conchas de *Cepaea* fósiles con bandas negras que datan del Neolítico en los mismos lugares en que viven todavía sus descendientes. El porcentaje de los individuos rayados sería más elevado que en la población actual, debido bien a un cambio de clima o a la deriva genética.

No se debe tampoco descartar la eventualidad del condicionamiento del depredador en favor de una presa de un tipo sobre una de otro. El depredador realizaría así una elección en la que la «menor visibilidad» de algunas presas no siempre sería importante, como en el caso bien conocido de los Salmónidos

(truchas, salmones), en los que individuos de una misma especie comen los unos Cructáceos (*Gammarus, Asellus*) y los otros larvas de insectos.

Poco importa que una u otra de estas explicaciones sea exacta. La ineficacia de la presencia o ausencia de bandas en la evolución de los caracoles es cierta; el problema deja por tanto de interesarnos.

Las conchas de los Moluscos Gasterópodos Cypraeidos están viva y muy diversamente coloreadas y nacaradas. Sin embargo, en el animal vivo, los lóbulos del manto las recubren casi completamente tapándolas. ¿Cómo se ejercería la selección sobre un color disimulado? El pigmento contiene purpurina y es quizás un producto de excreción. Tal vez la selección no actuaría sobre el color, sino sobre la naturaleza química del pigmento. Hipótesis tras hipótesis…

¿Qué consecuencia puede tener la forma de la nariz sobre las funciones olfativas y respiratorias? Seguramente ninguna. El europeo de nariz aguileña, el papú o el pigmeo de nariz respirarán igualmente bien. Y en este caso no se trata de pleiotropía **[69]**: la forma de la nariz es un carácter hereditario, racial e individual. La retina no funciona peor porque el iris sea castaño o azul, etc. Otro tanto puede decirse de todos los caracteres raciales (orejas, color del pelo, grupo sanguíneo, etc.) e individuales.

La doctrina darwinista explica que los portadores de esos rasgos no sometidos a la selección dada su pequeña importancia, participan todos en la reproducción; la unión de progenitores se deja al azar. Ésta es la tesis de la *panmixia* que según A. WEISMANN (1886) «consiste esencialmente en que vemos reproducirse no sólo a los individuos entre los que el órgano en cuestión ha alcanzado la mayor perfección, sino a todos los individuos, esté o no en ellos mejor o peor constituido ese órgano **[70]**». De esa manera degeneraría un órgano inútil. Nosotros retendremos la única lección que comportan estos hechos: la constancia del carácter insignificante atestigua que éste no interesa a la selección.

Se ha objetado que un carácter insignificante por sí mismo adquiere importancia para el individuo o para la especie, si va ligado a un gen que determine al mismo tiempo otro carácter útil o perjudicial. El recurso muy tentador a la pleiotropía raramente está

justificado.

Esos pequeños caracteres no están ligados a ningún estado de inferioridad o superioridad tanto desde el punto de vista físico como desde el psíquico[71]. De una manera general, la infinita variedad de genotipos humanos, debida a las combinaciones de caracteres raciales y familiares, no tendría resonancia evolutiva, porque no tiene prácticamente ninguna influencia sobre la salud física y moral del individuo, y (dicho sea de paso) *no depende de ninguna utilidad*. Ésta se observa en los esqueletos Homínidos fósiles y no ha aportado nada importante a la antropogénesis.

Estas consideraciones no son en absoluto argucias sin importancia, pues recuerdan que las variaciones representadas por los alelos de un gen (modulación sobre un mismo tema anatómico o funcional) no tienen resonancia sobre la evolución constructiva e innovadora.

Los caracteres desfavorables y las hipertelias

Todo organismo viviente, examinado desde un punto de vista crítico, se presenta como un mosaico de caracteres, entre los cuales unos son indispensables, otros simplemente útiles, varios neutros o indiferentes, y algunos desfavorables.

Estos últimos no faltan en el cuerpo humano. Citemos: la situación extraabdominal de los testículos que se encuentran expuestos a los choques; la posición periuretral de la vejiga en la base de la próstata hace que el órgano hipertrofiado se oponga a la micción; la falta de resistencia al aplastamiento de la quinta vértebra lumbar; la debilidad de la pared de las venas de las piernas; la incapacidad para la regeneración de tejidos (salvo la mucosa intestinal, la capa de Malpighi, el tejido hepático), la no renovación y la pérdida constante de neuronas, la fijación del colesterol por la pared de las arterias, etc. *La etiología de nuestras enfermedades no infecciosas revela las imperfecciones, no sólo individuales, sino específicas de nuestro organismo*.

Son numerosos los Insectos que presentan órganos extraordinariamente desarrollados y más perjudiciales que útiles. Las *hipertelias* se manifiestan en la mayoría de los órganos.

La tendencia a la exageración del *pronotum* (techo del primer

segmento torácico) se manifiesta en grados diversos en los Insectos homópteros membrácidos; en algunas líneas pequeñas el *pronotum* se hace enorme, más grueso que el cuerpo, cubre completamente la espalda del animal y lleva unos extraños apéndices: cuernos ramificados, hinchados, inclinados hacia adelante o curvados hacia atrás. Una sobrecarga tal desequilibra el cuerpo y no facilita el vuelo, que en los membrácidos es corto y zigzagueante. Posean un *pronotum* poco o muy hipertrofiado, las especies viven en los mismos lugares. Este órgano asume su papel de barrera cualquiera que sea su forma.

La hipertelia del *pronotum* existe en otros Homópteros, los Cercópidos, y también en otros Ortópteros Acrioideos. En estos últimos, entre los Tetrígidos, se prolonga hacia atrás hasta alcanzar la extremidad del abdomen, formando cuernos o levantándose en cuchilla muy por encima del cuerpo. Se observan las mismas rarezas en otros Acrioideos Eumastícidos, y menos acentuadas, en algunos Panfágidos.

Entre los Coleópteros Escarabeidos, son numerosos los géneros con *pronotum* y cabeza provistos de largos y potentes cuernos. Por ejemplo, *Odontaeus, Bolbelasmus, Typhaeus, Copris, Chironitis, Onthophagus, Oryctes, Dynastes*, etc.

La hipertelia afecta en ocasiones a las patas delanteras. En los Queironotos, grandes escarabajos de Indochina, son dos veces más largas que el cuerpo. Aún son más largas y delgadas en *Acrocinus longimanus*, un Coleóptero longicornio de Surinam. Las patas posteriores del Coleóptero Bréntido, *Calodromus mellyi*, de Tonkin, son inmensas y las de *Anisoscelis foliaceus*, chinche coreidea del Amazonas, largas y foliáceas. Existen rarezas casi igual de exageradas en varios Fulgóridos, Tintígidos, Redúvidos y otros Hemipteroideos.

La transformación de las alas posteriores, que superan de largo el extremo del abdomen, se ha producido en los Neurópteros planipennes nemoptéridos (*Nemoptera, Nemopistha, Josandreva*); el ala termina siendo tan sólo un hilo rastrero, un pelo delicado en el género *Nina*.

Muchas mariposas presentan la misma tendencia (*Endemone, Syrmatia*, diversos *Papilio*); sus alas posteriores se estrechan y

alargan sobrepasando ampliamente la extremidad posterior del cuerpo.

En diversos Coleópteros, la hipertelia afecta a la forma general del cuerpo. La tendencia de éste a hacerse muy largo y muy estrecho, se pone de manifiesto en la mayoría de los Bréntidos, verdaderos bastoncillos cilíndricos. En un gorgojo brasileño, *Ludovix denticollis*, el *rostrum*, en cuyo extremo se abre una boca minúscula, se vuelve filiforme y más largo que todo el resto del cuerpo. Nos hallamos en los dominios del surrealismo.

Los Dípteros Tipúlidos se caracterizan por la longitud y la fragilidad de sus patas; algunas especies son incapaces de andar; sus miembros no les sirven más que para suspenderse de las hojas o de las briznas de hierba. RABAUD (1932) recortó las patas al *Tipula oleracea*, constatando que esta operación le hacía posible caminar. La tendencia evolutiva de los miembros a alargarse no ha aportado ningún carácter favorable a los individuos. Considerando casos como el de *Tipula* fue como RABAUD llegó a confundir finalidad y utilidad. Si hubiera hecho referencia a la paleontología, habría comprobado sin dificultad que estos dos conceptos no tienen el mismo alcance. Un fin puede ser útil, inútil o indiferente. La tendencia que anima la evolución puede ser buena, mala o neutra en relación con la línea que la sigue. Poco le importa llevar al ser viviente hacia el triunfo o hacia su perdición. La evolución, falible, deja a su paso el inconmensurable cementerio en el que reposan sus víctimas.

La mera coexistencia del bien adaptado y el mal adaptado, del útil, el indiferente y el perjudicial, es algo que nos muestra que la omnipotente selección no es tal en el mundo de lo viviente.

Muchos grupos diferentes a los citados hasta ahora, se han abandonado a la evolución hipertélica. Citemos entre los Mamíferos a algunos Cetáceos Arqueocetos, como *Basilosaurus cetoides* (Eoceno superior de Alabama) cuyo cuerpo se alargaba exageradamente por detrás del tórax, hasta el punto de transformarse en serpentiforme. Por su estructura, la columna vertebral revela que este animal disfrutaba de una gran flexibilidad. Este extraordinario Cetáceo, presentado en el momento de su descubrimiento como la «gran serpiente marina», parece ser el punto final de una línea de la que tan sólo conocemos algunos

eslabones.

Los camellos-jirafa o Alticamélidos del Mioceno de Norteamérica constituyen una línea fuertemente hipertélica; cabeza pequeña, cuello desmesuradamente alargado (las vértebras cervicales más alargadas que se conocen), patas delgadas, muy largas, tanto las posteriores como las anteriores. Probablemente sean Camélidos adaptados a ramonear el follaje de los árboles de la sabana y constituyen, de algún modo, una caricatura de las gacelas jirafoides actuales (*Litocranius walleri*) que viven en las sabanas secas de Somalia y del Kilimanjaro, donde ramonean el follaje bajo las Mimosáceas.

Entre los Desdentados acorazados, los enormes Glyptodontos, grandes, rechonchos, con la parte trasera mucho más alta que la delantera, y recubiertos de un caparazón abombado, casi globuloso, compuesto por un mosaico de placas óseas poligonales, recuerdan a las gigantescas tortugas o a los Dinosaurios del Cretácico superior, los *Scolosaurus*. Estos Desdentados, que medían hasta 4 metros de longitud (*Doedicurus*) vivieron en América del Sur hasta el Pleistoceno; el hombre de la Pampa llegó a conocerlos.

En cuanto a los peludos Xenartros, dieron lugar a una línea muy especializada que se entregó al gigantismo; nos referimos a los *Megalonychoides*, que son perezosos andadores. Los *Megatherium* de las Pampas argentinas, que alcanzaban los 7 metros de longitud, podían erguirse sobre las patas posteriores y ramonear el follaje de los árboles, a los que se aferraban por medio de las dos patas anteriores, terminadas en manos con garra, cuyos dedos II, III y IV eran de enorme potencia.

Pero no debemos perder de vista que la hipertelia no siempre es una condición desfavorable, sino antes al contrario; el hecho de que multitud de especies fuertemente hipertélicas persisten hoy en día con un largo pasado a sus espaldas, lo prueba. Para ellas, como para muchas otras, la deformidad no altera su equilibrio metabólico y, por lo tanto, carece prácticamente de importancia.

Equilibrio del organismo con su medio y adaptación

La mutación *ojos en barra*, semidominante y ligada al sexto, en *Drosophila*, no pone en peligro la vida del individuo que la padece;

pero si en una misma botella se cría una población mixta de drosófilas de ojos en barra y de ojos normales (tipo silvestre), se constata que las hembras «barra» dan sólo 70 descendientes adultos por cada 100 de las silvestres. Los genéticos expresan esto diciendo que el valor selectivo del mutante barra, en relación con el tipo salvaje, es de

0,70

.

Si los mutantes *ojos en barra* tienen menos descendientes que los individuos silvestres, no obedece exclusivamente a la reducción de sus omatidios, sino al hecho de que los mutantes son menos fuertes, menos fecundos; la selección no actúa sobre la pérdida orgánica, sobre la forma, sino sobre la *deficiencia fisiológica*. Lo cual da a entender que el ojo en barra carece por sí mismo de valor selectivo.

La selección natural mantiene o restablece el equilibrio de la población con el medio y poco le importa que los individuos sean cojos, zambos o jorobados, le es suficiente que sean robustos y fecundos. Todo lo demás es accesorio.

La prueba la encontramos en el Insecto Neuróptero planipenne, *Nophis teilhardi*, bastante común en las regiones saharianas, cuyo largo abdomen presenta en uno de sus segmentos una pronunciada escotadura, como si hubiera intentado romperlo. Esta anomalía, aunque importante, al no tener repercusión alguna, fisiológicamente hablando, no pone en peligro el porvenir de la especie.

Este aspecto *real* de la selección difiere del que toman en consideración los genéticos que no distinguen suficientemente las desviaciones morfológicas y fisiológicas que no entrañan un cambio en el equilibrio organismo-medio de todas las demás.

Esto es hasta tal punto cierto que persisten los numerosos caracteres raciales y sus modulaciones individuales en el hombre, y no parecen estar sujetos a selección (tan sólo tenemos en cuenta a las poblaciones sometidas a una fuerte selección natural: pigmeos, indios de América del Sur, indígenas australianos…).

Más vale poseer un sistema inmunitario poderoso que la musculatura de un Hércules o la anatomía de un Adonis.

Por otra parte, la selección elimina a los portadores de caracteres que disminuyen la fecundidad, alteran la resistencia a las

agresiones climáticas, infecciosas, parasitarias, etc.

El detalle en las formas, las modalidades de función, poca importancia tienen en lo referente al devenir de la especie. La persistencia de dispositivos, de particularidades fisiológicas y conductas que nos parecen aberrantes (y lo son realmente), demuestra la exactitud de esta proposición. Es algo que RABAUD (1922) había comprendido a la perfección, pero que, llevado a su extremo, negaba toda realidad a la adaptación, lo que es absurdo. No obstante, de su obra ha quedado la noción de *persistencia de lo no nocivo*, cuya parte no es despreciable en el hombre, el animal y el vegetal, así como la idea de que lo importante para el ser viviente es tener un equilibrio fisiológico positivo.

Dada la débil «utilidad» que presentan numerosas coadaptaciones, no vemos cómo la selección, por sí sola, habría podido articular disposiciones tan delicadas como el doble cierre de la boca de las hormigas león, el engarce de las alas de las abejas y el cierre de las Nepas**(e30)**, etc., que sólo resultan funcionales si son perfectos.

Para que una población subsista, es necesario que permanezca en estado de estabilidad o en continuo crecimiento. Lo importante para el evolucionista es conocer las causas que actúan en el establecimiento de equilibrio demográfico. En teoría, la empresa es simple, pero en la práctica resulta complicada, ya que siempre nos encontramos con la dificultad de reconocer los parámetros ambientales y los genes ligados a la inferioridad o la superioridad del individuo en relación con sus congéneres.

A la luz de recientes investigaciones, se percibe que el número de caracteres neutros, es decir, sin valor selectivo alguno, es más elevado de lo que se suponía. Hemos citado algunos; hay una infinidad de ellos. Carecen de importancia en lo que a la selección se refiere y son, sin embargo, constantes y propios de la especie. Los caracteres específicos son probablemente neutros en su mayoría.

La diversidad genética (e intragénica) hace diferentes a los individuos y confiere a cada uno su originalidad. Ciertamente, en el individuo varían numerosas partes, pero no hasta el punto de llegar a tener influencia en la selección. Las mutaciones que alteran sólo ligeramente la ordenación de las bases en el segmento de ADN que llamamos gen y que, por consiguiente, modifican las proteínas que

codifica, pasan desapercibidas, carecen de valor evolutivo (las mutaciones neutras de los darwinistas).

Variaciones causadas por el medio y acción de los genes en función del medio ambiente

La agricultura y la cría de animales domésticos ponen a nuestra disposición inmensas poblaciones y al mismo tiempo hacen posible la medición de la mutabilidad. Del mismo modo, el paso de un medio a otro nos proporciona la posibilidad de desvelar la facultad que posee el ser vivo de adaptarse a las circunstancias y de evaluar su poder regulador y la expresividad de los genes en función del medio.

El medio ejerce, a veces, sobre los vegetales, acciones de una amplitud extremada, como, por ejemplo, el cultivo en la montaña de plantas propias de la llanura reveló a BONNIER
(1890-98)
hechos que son ya clásicos y que están llenos de interés. Algunas especies de serpol, *Thymus serpyllum*; anserina, *Chenopodium bonus-henricus*, que crecen en los alrededores de París o a
2000
metros de altitud en las pendientes de Lautaret, no varían de aspecto. Por el contrario, el cuernecillo de los campos (*Lotus corniculatus*) y las hierbas de las heridas (*Brunella vulgaris*) sufren una auténtica metamorfosis: adoptan una «facies alpina»: su tamaño disminuye por acortamiento de los entrenudos. Otras como, por ejemplo, el tupinambo (*Helianthus tuberosus*), cambian su porte erecto por el porte en roseta que adoptan muy a menudo las plantas de alta montaña. Las hojas de las plantas de llanura, al ser trasladadas a una mayor altitud, se hacen más pequeñas, pero aumentan de espesor y se enriquecen en clorofila; la formación de pigmentos se ve estimulada, de ahí la vivacidad del colorido de las flores. Los sistemas radiculares se extienden considerablemente. Finalmente, existe una tercera categoría de plantas que no soportan el cambio y mueren.

Disponemos de otros muchos ejemplos de la transformación de un vegetal bajo la influencia del medio. *Veronica anagallis*, normalmente aérea, al ser cultivada bajo el agua cambia de aspecto

y de metabolismo. Los tallos y las raíces adventicias aumentan de longitud; la superficie de las hojas y la pilosidad de los tallos aumentan. La corteza se hace más gruesa; el cilindro central se reduce, los estomas se hacen más pequeños y menos numerosos. En la hojas, las dos epidermis se cargan de clorofila, falta una capa de células en empalizada; las formaciones leñosas y las cutículas sufren una reducción… El contenido de la planta en agua y materias minerales aumenta. El metabolismo del nitrógeno no es el mismo en la planta sumergida que en la aérea: a la vez, la absorción de nitrógeno y fósforo y el poder de síntesis aumentan. La fotosíntesis subacuática es dos veces más intensa que en el aire y la lipogénesis se incrementa también (GERTRUDE, 1937).

Se dice que estos caracteres no son hereditarios. Es, a la vez, cierto y falso. Esta respuesta no es contradictoria más que en apariencia; interpreta los hechos considerados como un todo. Veamos cómo:

Las plantas sometidas a esta experiencia poseen los mismos genes que las plantas testigo. *Algunos genes «trabajan» de modo diferente según el medio al que esté expuesto el individuo*: los caracteres de porte erguido, hojas delgadas, etc., que el tupinambo adopta en la llanura no son más hereditarios que los de porte en roseta y hojas espesas que adopta en la montaña.

Las variaciones autoadaptativas, y son legión, atestiguan que numerosos genes tienen efectos que varían según el medio en el que el organismo se encuentra inmerso. Las experiencias de BONNIER y sus discípulos dan prueba de esta variabilidad.

La cadena de reacciones químicas, cuyo iniciador es el enzima génico, se desarrolla de manera diferente según el valor de los parámetros climáticos y de otros tipos (temperatura, humedad, intensidad de la luz, ritmos circadianos…) que, sin lugar a dudas, modifican el ambiente citoplásmico en el que actúan los genes.

Se hace necesario por lo tanto admitir —la experiencia lo impone— que la regla según la cual un gen determina siempre el mismo carácter salvo si muta, es demasiado rígida.

Los estudios referentes a la acción sobre las plantas de la intensidad de la luz, los días largos y los días cortos, las alternancias de calor y frío unidas a diferentes estados higrométricos, así como las innumerables investigaciones que se llevan a cabo en los

fitotrones (esos invernaderos perfeccionados que imitan los climas al gusto del investigador), revelan no sólo nuevos hechos fisiológicos (floración y fructificación, tuberización, ciclo vegetativo…), sino también el poder adaptativo de la especie sometida a la experimentación, es decir, la gama de reacciones posibles de algunos genes frente a las influencias del medio, haya o no agresión.

El gen transmite, probablemente, la misma información en todos los casos, pero los materiales que responden a ella reaccionan de diferente manera según las circunstancias. No tenemos seguridad alguna de que los ARN mensajeros encuentren siempre los mismos aminoácidos, iones y otras sustancias propias de la génesis de las proteínas específicas; las condiciones del medio modifican el citoplasma, es decir, el efector: *las respuestas a los mensajes no son invariables*. En este dominio tenemos mucho, por no decir todo, que aprender.

En suma, las experiencias sobre las plantas más arriba descritas nos enseñan:

1.º Que *algunos* genotipos específicos (que, clásicamente, se reducen a moléculas de ADN), producen efectos diferentes con arreglo a las circunstancias.

2.º Que tan sólo algunos metabolismos, de origen genético, se ven modificados.

3.º Que algunos genes muestran en sus efectos una gran estabilidad, mientras que otros manifiestan una gran variabilidad [72]

Un mismo gen no produce el mismo efecto en todos los individuos que lo poseen; los genéticos denominan a esta variabilidad *expresividad*. Señalan también que un gen no hace patente su presencia en todos los individuos que lo poseen, que es lo que demostró MENDEL en sus memorables experiencias [73]. Designan mediante el término *penetración* la frecuencia con que el gen se manifiesta.

La mutación «ojo lobulado» de *Drosophila*, aunque dominante en los individuos heterozigóticos, no se pone de manifiesto más que en un 75 por 100 de sus portadores, con lo que su penetración es, por consiguiente, del 75 por 100. En cuanto a su expresividad, va desde el ojo normal a la desaparición del mismo, pasando por todos

los estadios intermedios, a destacar el ojo de muesca profunda; la expresividad de este gen dependería bien de la composición del genoma, o de la composición citplásmica de las células efectoras que participan en la construcción del ojo.

Un gen posee un índice de selectividad fijo a condición de que en un medio estable reproduzca siempre el mismo efecto. En el caso de genes de efecto variable, la cosa cambia: el coeficiente de selectividad del gen varía con arreglo a su grado de expresión (cf. drosófilas de ojo lobulado). La mayor parte de los darwinistas admiten la constancia del carácter expresado, sea cual sea el medio. Esta simplificación desprecia hechos importantes haciendo así disminuir el valor de los cálculos realizados y de las conclusiones propuestas.

Los hechos descritos más arriba se benefician de la existencia de algunos genes que determinan caracteres diferentes y generalmente adaptativos según las circunstancias. Estos genes presentarían, por tanto, en sí mismos, un poder regulador; puede ocurrir que estén incluidos en operones o sistemas análogos.

¿Existen acaso respuestas del organismo que no utilicen a los genes como intermediarios? Seguramente que sí. La mayor parte de los estímulos físicos o químicos que afectan a las funciones orgánicas: sensaciones, alimentación, etc., no se remontan hasta el gen. Pero modifican el medio celular y por esta vía alteran el efecto de los genes.

La tesis de la independencia del gen con respecto al soma es algo excesiva. El gen distribuye información, pero no en cualquier momento ni en cualquier ambiente. Los informadores químicos, las hormonas, los estimulan o los inhiben, *ya que las glándulas endocrinas difunden una información que les es propia*, aunque dependa del genoma, y en tanto que partes del organismos (véase también capítulos VIII y IX).

Los genes transmiten los mensajes primarios, y algunos órganos que se edifican según sus prescripciones son, a su vez, capaces de crear información y enviar mensajes a otras partes del organismo. Éste es el caso de las glándulas endocrinas que acabamos de indicar, y, a lo largo de la embriogénesis, el de los organizadores (primarios, secundarios, terciarios). Las feromonas segregadas por las glándulas tegumentarias crean en torno al organismo un hálito informativo

que adquiere cada vez mayor importancia a medida que va progresando nuestro conocimiento de la etología y la fisiología animales.

En suma, en los seres pluricelulares, los genes delegan, en cascada, su información a ciertas células, a ciertos órganos que se convierten en informadores de segundo orden y en iniciadores de las síntesis. Las hormonas y otras sustancias actúan de vuelta en los cromosomas y de esta manera estimulan la actividad de ciertos genes. No sabemos prácticamente nada de su mecanismo de acción. En la célula se producen acciones y retroacciones de manera incesante, y no puede decirse que en esta ronda el ADN tenga una preeminencia apreciable.

Si a su sistema informador le faltase plasticidad, el ser vivo que habita en un medio de parámetros inconstantes estará condenado a una muerte casi inmediata.

Según la doctrina darwinista, que ha hecho suya la concepción dualista de los seres pluricelulares tal como fue enunciada por WEISMANN (1885-1888), la reacción no concierne más que a la parte perecedera del individuo, el soma; en cuanto al germen, es inaccesible a las influencias extrañas, a excepción de los agentes mutágenos.

De ahí la idea de que en la evolución, el germen se comporta pasivamente: graba los golpes que le llegan al azar. La reacción corporal lo deja inalterado. Su única respuesta, pasiva y eventual, es la presencia en él de genes mutados y fortuitamente preadaptados. El acuerdo entre los genes y el medio se produce por puro azar. El ser vivo sufre su destino. Como un barco sin timón flota en el océano del tiempo y obedece dócil e indefinidamente a los movimientos aleatorios de las aguas que lo arrastran.

Ésta es la concepción darwinista.

En nuestra opinión, no corresponde a la realidad. La génesis de los sistemas reguladores sin intervención del organismo se concibe con dificultad, y conduce a admitir montañas de azares que, por otra parte, no podrían surgir por falta de tiempo y de un número suficientemente elevado de generaciones. Tenemos como ejemplo de regulación la coagulación de la sangre, fenómeno de gran complejidad sobre el que, al parecer, los evolucionistas no han

reflexionado apenas[74]. Su causa normal es la apertura de una vena, una arteria o capilares; la sangre, al entrar en contacto con los labios de la herida (tejidos lesionados) se convierte en la sede de una serie de reacciones en cadena que desembocan en la producción de un coágulo. Esto tan sólo es posible porque en la sangre *preexisten* los agentes de las reacciones, o sus precursores, cuyo efecto último sería el de coagular determinadas proteínas del plasma sanguíneo. El organismo, preparado para cualquier eventualidad, lleva en sí, *en estado latente*, su dispositivo protector. La elaboración de sustancias coagulantes, de proteínas, de enzimas, está dirigida por genes.

Un proceso de este tipo constituye un todo: si falta una sustancia o se altera una enzima, el sistema deja de funcionar. No se concibe, por tanto, que haya, podido configurarse por una acumulación de azares sucesivos, formándose tan pronto una proteína como una enzima, y todo sin un orden. Además, conocemos los efectos de las mutaciones sobre el sistema. Son catastróficos; constituyen el capítulo más largo de la patología sanguínea.

El sistema sólo se hizo *funcional* cuando *todas sus partes* estuvieron presentes y ajustadas las unas a las otras. La hipótesis darwinista impone la admisión de un período preparatorio en el transcurso del cual la selección actúa sobre algo que no existe aún, fisiológicamente hablando. En las condiciones exigidas por la doctrina, su acción no puede ser menos que profética. Toda explicación que excluya la intervención activa del organismo en la adquisición de sistemas reguladores puede ser considerada inadecuada.

Aceptar como verdad evidente que los mecanismos reguladores, que amortiguan o neutralizan las acciones del medio, han sido construidos (se trata de dispositivos complejos compuestos por varios elementos coordinados) por azares sucesivos y felices, sin que el organismo haya desempeñado papel alguno, ¿no es acaso sacrificar el análisis científico, objetivo, en aras de una explicación simplista?

Preadaptación y selección en ambientes cerrados

La doctrina darwinista le atribuye una importancia cada vez

mayor a la preadaptación, que por su doble azar le resulta particularmente conveniente: azar de la mutación, azar de la concordancia con una determinada necesidad.

Ciertos hechos de reciente adquisición han dado un nuevo relieve a la noción de preadaptación, en especial la demostración, por parte de LURIA y DELBRÜCK, 1943, y LEDERBERG y LEDERBERG, 1952, de la preexistencia, en las poblaciones bacterianas, de individuos a los que una mutación les ha conferido por azar la resistencia a un virus (Bacteriófago) o a una droga sintetizada por el hombre o extraída de un vegetal. La existencia previa en una población de mosquitos o moscas de individuos resistentes al DDT o a otros pesticidas de síntesis, corresponde, en los Metazoos, a lo que ha sido observado en las Bacterias [75].

La noción de preadaptación se ha extendido al conjunto de los dos Reinos. La posibilidad que una población posee virtualmente de pasar de un medio a otro, de sobrevivir a las agresiones, se debería, en definitiva, a la *presencia de individuos preadaptados a vivir en el nuevo medio, o a soportar las modificaciones del ambiente*.

La práctica certeza de que las resistencias de las poblaciones bacterianas a los antibióticos o a los virus tiene por origen mutantes preadaptados, no es aceptada cuando se trata de una evolución indiscutible y compleja que se ha desarrollado fuera de nuestro tiempo.

A fin de no perdernos en especulaciones teóricas, pasaremos al examen de casos concretos.

A) *Los Insectos cavernícolas*

La fauna de las cavernas y de las grietas del suelo estaría formada por preadaptados.

Por ejemplo, los Insectos cavernícolas no acuáticos, que exigen una atmósfera húmeda y en calma, una temperatura baja y casi constante, y cuyo universo perceptivo se concreta en percepciones químicas (sobre todo olfativas), mecánicas e hídricas, habitaban anteriormente la superficie del suelo, bajo la cobertura de musgo u hojas muertas. Estaban *preadaptados* a la caverna, en la que penetraron al azar en sus desplazamientos. Ciegos o microftalmos, encontraron en ese medio la compensación a su enfermedad, que

carece de incidencia en medio de la oscuridad; no tienen ya que temer la concurrencia de individuos mejor dotados que ellos. La mayoría de las familias, subfamilias e incluso tribus de Insectos cavernícolas, cuentan entre sus filas con especies hipogeas y epigeas (de superficie).

La subfamilia de los Batiscíneos, Coleópteros catópidos de la superfamilia de los Estafilinoideos, nos ofrece una buena ilustración de esto. De las 700 y pico especies o subespecies que la componen, algunas son epigeas, otras endogeas (viven bajo las grietas y en la tierra) y las demás son hipogeas, de las grutas y grietas del suelo.

Los musgos y el humus de los bosques serían para los insectos la antecámara de la caverna. Algunos Batiscíneos viven ahí todavía, mientras que otros han emigrado a las profundidades: su microftalmia, la pérdida de una muda larvaria (tres en lugar de las cuatro que sufren todos los demás Estafilinoideos), su higrofilia, les predisponían a vivir bajo tierra. Algunas especies constituyen la transición entre las epigeas verdaderas y las troglobias. Tal es el caso de *Bathysciola schiodtei* que vive en los musgos a la entrada de las grutas.

Los cavernícolas se caracterizan por la pérdida de los ojos (la microftalmia de las especies epigeas sería el esbozo de este carácter), por la presencia de sedas sensoriales compuestas por sus miembros largos y gráciles, por la formación de grandes huevos, la menor duración del desarrollo postembrionario y el alargamiento de la vida del imago. Las pérdidas se eliminan en mayor o menor grado según los grupos zoológicos considerados.

Parece seguro que los Batiscíneos han proseguido su evolución en el mundo subterráneo. Los modos de reproducción lo atestiguan: *Speonomus longicornis* pone (con arreglo a un ciclo perfectamente rítmico) un único huevo grande y cubierto de partículas calcáreas aglomeradas, pasando al estado de ninfa en el interior de ese abrigo sin haber caminado ni comido. *Speonomus delarouzei*, de los Pirineos orientales, pone huevos de tamaño medio, la larva del primer estado lleva una vida libre y se alimenta; después de haber mudado en una cápsula que ella misma se construye, permanece errante, pero sin consumir ningún alimento. Entre estas dos especies se clasifican los Batiscíneos que ponen un solo huevo, pero cuyas larvas, si bien no se alimentan, llevan una vida errante antes de

construir el habitáculo de ninfa. Así se comporta *Leptodirus hohenwarti*, que habita las grutas del Karts, en el macizo dinárico septentrional. Las larvas de especies con ciclo vital corto tienen el tubo digestivo atrofiado, no funcional. Padecen una «simplificación anatómica» (término empleado por SYLVIE GLAÇON, que describió su ciclo, 1953); sus sedas sensoriales pasan de ser compuestas a simples, sus mandíbulas de disimétricas a simétricas; pierden las paraglosas, los retináculos; los cercos no tienen más que una artícula**(e31)**. Entre las especies epigeas y los Batiscíneos (los más profundamente adaptados al hábitat subterráneo) se intercalan especies que muestran que *la evolución de esta línea se ha producido progresivamente en el interior de la caverna*.

Los imagos, menos afectados que las larvas, aparte de su despigmentación (ya visible en las especies epigeas), y su ceguera, difieren en muy poco de las especies lucícolas. El aumento de la longevidad (los *Speonomus* viven de cuatro a cinco años) y la pérdida del ritmo nictemeral se observan poco más o menos en todos los Insectos cavernícolas.

De todos modos, la especie cavernícola está sometida menos de lo que se cree a las condiciones ecológicas de la gruta: se sabe (y esto es sorprendente) (DELEURANCE-GLAÇON, 1963) que los Batiscíneos temen tan poco a la luz que pueden criarse en presencia de ésta y a temperaturas apenas inferiores a los 16 ^{o}C. La condición a la que están más sometidos es a la presencia de un alto grado de humedad en la atmósfera. A pesar de esta relativa adaptabilidad se tiene casi la certeza de que los Batiscíneos, y con ellos todos los troglobios verdaderos, no podrían vivir fuera del mundo subterráneo.

No se comprende bien los motivos de su evolución desde la perspectiva darwinista. En efecto, ¿qué «necesidad» empuja a un insecto cavernícola a llevar a cabo una especialización que le convierte en esclavo del medio mientras que vive muy bien en la gruta bajo su forma de preadaptado?

Sea como fuere, los resultados de todas las «experiencias» puestas en práctica por los cavernícolas son satisfactorias, puesto que sus especies subsisten y nadie tiene derecho a juzgarlas degeneradas. Su fisiología especializada los reduce a un hábitat restringido, pero comparten esta particularidad con otras muchas

especies. ¿Diríamos acaso que el koala ha degenerado porque tan sólo le convienen las hojas de cuatro especies de eucaliptos, que las larvas de Blefarocéridos también han degenerado por estar estrictamente adaptadas a las aguas torrenciales?

Abandonándose al juego de los juicios de valor, se puede sostener la opinión contraria y ver en los cavernícolas no seres degenerados, sino tan *perfectamente* adaptados a un medio especial que no pueden acomodarse a otro.

Raramente existen varias especies de un mismo género habitando la misma gruta. Las *presuntas causas* de este hecho son múltiples; la primera sería la competencia intraespecífica, la segunda el aislamiento de las grutas y de las redes subterráneas. La tercera, menos probable, se referiría a las condiciones ecológicas propias de la gruta o de la zona territorial considerada.

La concurrencia entre especies de géneros diferentes opera tanto en el interior de las grutas como al aire libre, con rigor; pero no es intensa[76]. Por el contrario, entre especies del mismo género, sería severa hasta el punto de dejar subsistir sólo a una.

¿Va acompañada realmente la lucha intraespecífica de una selección para la mejor adaptación a la vida cavernícola? No es en absoluto seguro. Esta pretendida selección interesa a caracteres negativos, puesto que las especies más «regresivas» son las más evolucionadas… La noción de útil, de favorable, parece aquí ser muy relativa. Un individuo bien adaptado al medio puede no ser un buen combatiente y ceder el paso al más fuerte, más agresivo que él pero peor adaptado al medio. La realidad, vista de cerca, se muestra compleja, y los efectos de la lucha por la vida sobre la evolución de los cavernícolas, muy relativos.

Los coleópteros Pseláfidos, que JEANNEL (1952-53) estudió por su alimentación, nos ofrecen un caso instructivo. Las especies no cavernícolas viven bien en el humus, o bajo las piedras hundidas (especies endógenas); su dimorfismo sexual es muy acentuado: las hembras son ápteras, microftalmas o ciegas, y los machos alados de ojos normales se desplazan y, abandonando su lugar de nacimiento, se lanzan en busca de las hembras.

Los Pseláfidos cavernícolas, como los *Glyphobythus*, conservan las costumbres de los endogeos, y los machos salen de la gruta para

reproducirse. En algunos Pseláfidos cavernícolas, éstos se presentan bajo dos aspectos: el uno normal (ojos y alas) y el otro microftalmo y áptero (*Octozethinus leleupi*). En el Congo, en el humus de los bosques de montaña, relativamente frescos y húmedos, se encuentran Pseláfidos que están en el mismo estadio evolutivo que los cavernícolas circunmediterráneos. Hay dos explicaciones posibles (JEANNEL y LELEUP, 1952): en el Congo, la adaptación a la vida subterránea se encontraría en sus comienzos, habiéndose consumado en la región mediterránea. Segundo: podría ser que los Pseláfidos cavernícolas mediterráneos hubieran sufrido la totalidad de su evolución en el humus de los bosques que, en el Terciario, cubrían la mayor parte de Europa; después, cuando el clima se hizo más seco y menos cálido, habrían encontrado asilo en las grutas.

La imposibilidad de explotar el pasado, en ausencia de fósiles, nos obliga a proponer hipótesis cuya base es frágil y estrecha.

¿Qué variaciones han ofrecido a las líneas la posibilidad de cambiar? Se piensa inmediatamente en las mutaciones, tanto más cuanto que varios caracteres de cavernícolas, como tantas mutaciones, son «sustractoras»: pérdida de pigmentos, de ojos, de sedas sensoriales compuestas.

Pero las variaciones de los cavernícolas no han sido unas variaciones cualesquiera; han acentuado las que se anunciaban en las especies epigeas. Han seguido con constancia y a lo largo del tiempo unas determinadas direcciones, se han sumado (pérdida o ganancia de órganos o funciones). La existencia de intermediarios entre las especies epigeas y las hipogeas más evolucionadas lo prueban. Por otra parte, los entomólogos han reconocido que las líneas que parecen naturales se acantonan en áreas geográficas precisamente delimitadas [77].

Por lo tanto, no se trata en absoluto de mutaciones desordenadas cualesquiera, como las que vienen sufriendo durante millones de años y sin efecto evolutivo la drosófila, el ratón y las Bacterias…

La abundancia de especies microftálmicas o ciegas, no pigmentadas, en la fauna subterránea considerada en su conjunto, es un hecho bien establecido: Turbelarios, Crustáceos, Arácnidos, Insectos, Peces, Anfibios Urodelos… cuentan todos con numerosas especies cavernícolas, las unas microftalmas, las otras ciegas. ¿Por qué habría de extrañarnos, dicen los darwinistas, esta abundancia

de ciegos? En un medio oscuro, los ojos no sirven para nada, no poseerlos no constituye una desventaja: la selección no tiene por qué ejercerse sobre ellos. Pero entonces, si tanto los ciegos como los no ciegos están en igualdad de condiciones en la gruta (ver la hipótesis de la panmixia imaginada por A. WEISMANN), ¿por qué razón habrían de triunfar los primeros sobre los segundos? He ahí la dificultad que los darwinistas se muestran incapaces de solucionar.

Digamos que a la ceguera se añaden la despigmentación y la disminución del metabolismo. ¿Por qué la mayoría de los animales cavernícolas están dotados de esta tríada de caracteres? Por selección de mutaciones. En su favor se puede decir que es lo inmediato y no exige una gran imaginación; *pero esto supone que haya aparecido en todos los grupos cavernícolas la tríada de caracteres*. Tres tipos de mutaciones diferentes ligadas las unas a las otras y que aparecen, si no en todas las especies, al menos sí en todos los grupos, es mucho pedir al azar, cuya complacencia tiene también sus límites.

Todo hace presentir que el modelado del tipo cavernícola exige algo más que las historietas aleatorias que se nos proponen y que no se ven respaldadas por ninguna constatación de hechos indiscutibles.

B) *Los Peces cavernícolas*

Los Peces cavernícolas informan acerca de la evolución, pero en menor grado que los Insectos hipogeos. Relativamente poco numerosos y repartidos en 9 familias de las que 4 pertenecen a los Siluriformes, sus especies se presentan geográficamente aisladas e independientes las unas de las otras. Algunas no han sido encontradas más que en un solo lugar. Esta particularidad es también debida a la pobreza de nuestros conocimientos acerca de las comentes de agua subterránea. Entre los Peces cavernícolas de distribución algo más extensa se citan tres géneros: *Amblyopsis* (Kentucky, Indiana, Missouri), *Typhlichtis* (Oklahoma, Missouri, Arkansas, Kentucky, Tenessee, Alabama) y *Caecobarbus* (bajo Congo).

La segregación a la que están habitualmente sometidos los

cavernícolas probablemente haya tenido una influencia, por otra parte mal medida, en su transformación. A causa de ella, la evolución ha influido tan sólo sobre poblaciones especialmente muy limitadas. No se puede ni seguirlas en el tiempo, ni reconocer las líneas filéticas. Conocemos por un lado, las especies epigeas, y por otro las hipogeas, pero no las intermedias. Este punto es importante, pues nos recuerda que las interpretaciones propuestas (que son numerosas) acerca del origen de los Peces troglobios tienen una dosis importante de imaginación.

Es difícil explicar la circunscrita localización de los Peces troglobios. ¿Por qué razón los barbos (*Barbus s. l.*) no disponen de ninguna familia cavernícola en Europa, mientras que poseen dos géneros, *Caecobarbus* y *Barbopsis*, en el bajo Congo y en Somalia respectivamente? En Europa, los barbos (*Barbus fluviatilis, B. meridionalis*) han sido arrastrados por las aguas numerosas veces en el curso de crecidas a los cursos de aguas subterráneas y no han «enraizado» por razones que ignoramos, quizá de orden ecológico.

La evolución de los peces en el medio subterráneo ha sido casi exclusivamente deprivativa**(e32)**; pérdida de ojos, de pigmentos tegumentarios, reducción del encéfalo… Una sola ganancia: acrecentamiento del sentido táctil y vibratorio. Se ha hablado de degeneración. Pero este término peyorativo es inadecuado para ser aplicado a seres vigorosos y robustos. Se trata, sobre todo, de una adaptación muy específica a un medio particular.

WEISMANN (1886), adepto de Darwin, presentó una ingeniosa interpretación de esta evolución, tomando por ejemplo al proteo, Anfibio perennibranquio, y un pez cavernícola de Kentucky, ambos ciegos.

Imaginó que el proteo provenía de un tritón epigeo, normalmente con ojos, que había penetrado en el nuevo domicilio subterráneo y se encontraba «en condiciones de encontrar su alimento sin servirse de los ojos» (he aquí una aplicación del principio de la preadaptación «fisiológica»), cuya regresión no podía atribuirse a su no utilización: como la selección entre los individuos provistos de mejores ojos y de los provistos de unos ojos menos buenos quedaba suspendida, tanto los unos como los otros tienen las mismas oportunidades de perdurar y reproducirse. A continuación, los individuos de mejores ojos se cruzarán con los de

ojos menos buenos, y el resultado será tan sólo una alteración general de los ojos. «Desde el momento en que la selección natural no mantiene el ojo en su más alto grado de organización, éste queda, *necesariamente*, condenado a decaer» (necesariamente es subrayado por nosotros) (WEISMANN, 1886, págs. 395-396).

De este modo, la involución del órgano estaría ligada a la ausencia de selección; todos los individuos de la población, cualquiera que sea el desarrollo del órgano considerado, participan en la reproducción [78]; WEISMANN llama a este fenómeno *panmixia*. La teoría no ha perdido ningún crédito entre los darwinistas. Se ha dicho que todo esto tendría como resultado la detención de la evolución; pero incluso en una población panmíctica, basta con la aparición de algunas mutaciones para que prosiga la evolución.

La panmixia no aboca *ipso facto* en la abolición del órgano selectivamente neutro, incluso aunque éste esté reducido a vestigios: así, tenemos el apéndice vermiforme, la musculatura de la oreja, el coxis, que se mantienen sin cambiar… La mutación hace desaparecer el órgano inmediatamente y en bloque; la evolución actúa con lentitud y no borra el órgano sin dejar rastros duraderos.

La tenia, que ni siquiera tiene aparato digestivo, ni circulatorio, ni respiratorio, no es ni un monstruo ni un ser degenerado. La saculina, que va aún más lejos en su transformación orgánica, tampoco lo es. Toda adaptación estricta a un modo de vida o a un medio particular, va acompañada de la pérdida de órganos cuyas funciones no son indispensables para la vida. «Todo pasa como si» el ser viviente, economizando la energía de que dispone, eliminase los órganos y suprimiese las funciones que, en las circunstancias en las que se encuentra, carecen de cometido, tanto en su supervivencia como para su reproducción.

Si en los Peces cavernícolas la adaptación se ve acompañada, sobre todo, de pérdidas, no ocurre lo mismo en los Insectos cavernícolas, en los que la adaptación más bien comporta ganancias, tales como un mayor desarrollo de los órganos del tacto, de los receptores de las vibraciones mecánicas. Las «degeneraciones parasitarias» señaladas en los Platelmintos comportan también adquisiciones indiscutibles: aparatos fijadores, absorción de alimentos en los que se baña el parásito por microfagocitosis tegumentaria (=pinocitosis), multiplicación de los órganos

genitales, enorme aumento del número de huevos, multiplicación de larvas por pedogénesis, gemaciones, fermentación anaerobia del glucógeno…

¿En qué consiste pues la adaptación de un cavernícola sino en subsistir en un medio más bien frío, muy húmedo, oscuro y pobre en recursos alimenticios?

¿Qué necesidad tiene el animal de someterse a una temperatura y una humedad cada vez más constantes? No se divisa ninguna. Se vuelve dependiente de su medio, en grado máximo, arriesgándose a perecer si éste varía. La disminución en su fecundidad (¡un huevo por puesta en diversos cavernícolas!) da fe de que la competencia interespecífica es escasa en las cavernas y que en estas condiciones, la especie puede contentarse con un pequeño número de gérmenes que, gracias a su tamaño, dan jóvenes de organización más avanzada que los que salen de huevos pequeños.

¿Qué papel desempeña la selección si el animal está ya adaptado cuando penetra en la caverna? Aparentemente ninguno. Todos los descendientes del preadaptado que penetró en las cavernas se encuentran de repente en armonía con el medio. En cuanto a la convergencia de caracteres presente en las diversas líneas de cavernícolas, no puede explicarse sólo por el azar.

La orientación del destino en los troglobios está tan acentuada, y es tan fielmente seguida, que uno no puede por menos que preguntarse si no habrán sido otros factores, diferentes a los hasta ahora considerados, los verdaderos agentes de la evolución de estos animales. Por ello, nos sorprenden las consideraciones que este problema ha inspirado a VANDEL (1964), que conoce el medio subterráneo mejor que nadie. Para él, la historia de los cavernícolas es una manifestación de la *ortogénesis*, es decir, de la evolución dirigida, como tantas otras puestas al descubierto por la paleontología y la biometría (MATSAKIS, 1962). Al ser prácticamente constante el medio en que viven estos animales podemos inferir que la variación ortogénica**(e33)** se origina en el propio organismo. Las mutaciones, desordenadas e inadecuadas por naturaleza, se oponen por ello mismo a la evolución orientada. La ortoselección imaginada por PLATE (1913), no es operativa porque tan sólo puede funcionar si las mutaciones se producen en un cierto orden, cosa que no sucede nunca.

La preadaptación y su papel

Es probable que en la población del medio subterráneo, la predisposición haya desempeñado un papel. Dado que la penicilina, la aureomicina o el DDT no intervienen en absoluto en la génesis de las Bacterias, mosquitos o moscas que los resisten, tampoco hay necesidad de una caverna para modelar un Insecto, un Crustáceo, o un Pez troglobios. La preadaptación y el azar proveen.

La lógica, por extrapolación de un caso a otro, nos hace inclinarnos en favor de la inutilidad de la caverna en la génesis del cavernícola; y llevando aún más allá la generalización, nos hará admitir que el ojo se formó sin intervención de la luz e independientemente de toda función fotorreceptora. Examinada más de cerca, se percibe que esta afirmación hace inútil o superfluo el recurso a la selección antiazar, ya que el azar satisface de golpe y por completo la necesidad.

¿Y por qué la ballena y la tenia no podrían haberse formado, la primera fuera del mar, y la segunda fuera del tubo digestivo de un Vertebrado? La lógica no tiene nada que oponer. Dudamos mucho de la legitimidad de tal procedimiento, que conduce al absurdo.

Aunque en ocasiones una población amenazada de extinción por un cataclismo, pueda salvarse gracias a sus mutantes preadaptados aparecidos al azar en su seno, no se concibe que estas variaciones tan excepcionales puedan alimentar una evolución continuada y orientada semejante a la que se observa en las líneas vegetales y animales.

¿Quién osaría mantener que la maravillosa adaptación que presenta la ballena al buceo hasta aguas profundas y a la vida acuática en general, representa simplemente una colección aleatoria de propiedades (a su vez aleatorias), en armonía, siempre por azar, con un medio de vida que el animal no ha adoptado aún? ¡Otro azar lo constituiría la caída del Mamífero preadaptado al agua, en la que se encontró tan bien que permaneció en ella!

Qué audacia aseverar que las tenias, la saculina, los Copépodos parásitos, los Bopíridos, *Portunnus*(e34) y otros Crustáceos Isópodos parásitos se hayan formado pieza a pieza, sin haber entrado en contacto con el huésped que les reservaba el «destino».

Estos cuentos de hadas, como los que mi abuela me contaba para divertirme, no son serios. Muestran, y ahí está su utilidad, los

excesos a los que conduce una doctrina a la que no ponen freno ni la razón ni la observación de lo concreto. La preadaptación debe tener pretensiones modestas, si no, pierde toda credibilidad.

Las preadaptaciones fortuitas debidamente constatadas hasta el momento, se limitan a una sola propiedad (elaboración de una enzima por un gen mutado) y no abarcan un conjunto de rasgos coordinados; su influencia evolutiva, si es que poseen alguna, es muy reducida.

Coadaptación y adaptación entre partes disímiles

Son a veces los animalitos quienes plantean los problemas de la evolución con una extremada claridad y sin permitir a los teóricos sacar partido de sus prestidigitaciones. No existe criatura más antiazar que la larva de las hormigas león, porque ofrece al naturalista toda una colección de coadaptaciones de una excepcional riqueza empujando a todos sus órganos a la especialización, tanto morfológica como fisiológica, en su más alto grado.

Su cabeza se aplana, y su boca, convertida en una hendidura, está herméticamente cerrada por un doble cerrojo, dos asombrosas coadaptaciones entre partes que se forman *independientemente* en el curso de la ontogénesis. El borde anterior de la cabeza se repliega por debajo, formando el labio superior, mientras que una placa hexagonal, cuyo borde posterior está soldado a la pared del cráneo, da el labio inferior. El techo de la hendidura bucal lleva un saliente de contorno triangular que se introduce en una hendidura preexistente en el labio inferior, formando el conjunto una especie de cierre. Un segundo dispositivo de cierre complementa al primero; es un conjunto en forma de cola de golondrina: un saliente transversal y anterior de la pared faríngea se acomoda en una ranura correspondiente del techo bucal.

Una boca cerrada probablemente resulte poco favorable para la absorción de alimentos y excluye, desde luego, toda alimentación sólida; pero la larva de hormiga-león ha adoptado un método muy peculiar de sustentarse; aspira los humores de sus víctimas. Debido al cierre del orificio bucal, las mandíbulas y las maxilas se ven empujadas fuera de la cavidad bucal, y muy lateralmente, por las comisuras de la hendidura. Son muy alargadas y, en sus extremos

libres, se curvan hacia el interior formando una pinza de bordes afilados. Las mandíbulas se hunden, por su cara interna, para formar un canal longitudinal que va hasta la raíz del apéndice, comunicando así con la cavidad bucal. La maxila, que reproduce en dimensiones menores, el perfil de la mandíbula, se mantiene paralela a ella por su lado interno; se hunde por su cara externa en un canal que se acopla con gran precisión sobre el canal mandibular. Los dos canales superpuestos borde sobre borde forman un canal capilar: la coadaptación es perfecta.

La larva de la hormiga-león, el demonio de las arenas, como decía el entomólogo WHEELER, hunde su pinza bucal en el cuerpo de sus presas. Les inyecta antes de nada un veneno paralizante que segrega una glándula contenida en un pequeño abultamiento basilar de la maxila; ese veneno atraviesa, no el canal capilar, sino una laguna longitudinal dispuesta entre la epidermis y su cutícula; así no se mezcla con los jugos digestivos.

Paralizada ya la presa, la hormiga león le inyecta, a través de su tubo capilar maxilomandibular, jugos digestivos, que atacan y licúan las vísceras y los músculos. La retirada de los jugos, y después la aspiración de los líquidos que llenan el cuerpo de las presas son posibles gracias a una faringe transformada en bomba aspirante-impelente.

El equipo sensorial de la larva comprende numerosos órganos, ideales para registrar la menor vibración mecánica de su soporte. Si cae un grano de arena a lo largo de las paredes de su embudo, la larva, alertada, se prepara inmediatamente para saltar sobre su eventual presa con las mandíbulas abiertas.

La inmovilización de las presas exige que el cazador tenga un firme punto de apoyo sobre el substrato. Éste es posible gracias a que la extremidad posterior del abdomen va equipada de ganchos quitinosos, e incluso dientes, que se agarran al substrato impidiendo el deslizamiento.

Los medios habitados por las hormigas-león no son pródigos en una fauna abundante. El ayuno es frecuente. Las larvas sedentarias permanecen a la espera de una problemática presa, ya sea una hormiga u otro insecto, disimuladas bajo la arena en el fondo de su trampa en forma de embudo, pero su fisiología es tal que soportan sin daño largos períodos de ayuno.

Dado que la larva vive en arenas muy secas, a menudo al amparo de la lluvia, debe evitar toda pérdida de agua para poder subsistir. Precisamente, su aparato excretor es ahorrativo, y reabsorbe el agua que contienen los uratos y otros desechos. Además, el tubo digestivo está interrumpido en la unión de los intestinos medio y posterior; toda defecación resulta imposible; el agua absorbida con los alimentos se conserva en su totalidad. Y esto no es todo; la larva de la hormiga-león está protegida contra la evaporación por sus tegumentos, dotados de una gran impermeabilidad.

Su obliteración excluye de la digestión al recto, lo que facilita su transformación en un órgano dotado de una nueva función, la de convertirse en depósito y en glándula hilera de seda. Se dilata en una ampolla cuyo ápice forma un reborde en el que penetran las extremidades libres de los órganos excretores o tubos de Malpighi (criptonefridismo); este órgano facilita la reabsorción del agua de la orina. Los segmentos de los tubos de Malpighi próximos a la inserción en el intestino cambian de función: ya no excretan desechos, sino que segregan la seda, formada por proteínas, que se acumulan en la ampolla rectal, transformada en depósito de reserva. Por el ano, muy estrecho, que desempeña el papel de hilera, la larva, al término de su crecimiento, expulsa la seda y, como una oruga, se teje un capullo en cuyo interior se metamorfosea surgiendo, algunas semanas más tarde, como insecto perfecto.

A partir de aquí tenemos el deber de dirigirnos a los darwinistas y preguntarles: «¿Habéis visto alguna vez una mutación que interese simultáneamente a dos partes diferentes del cuerpo y que produzca estructuras que se ajusten exactamente la una sobre la otra? Decid: ¿Habéis visto alguna vez aparecer tres, cuatro o cinco mutaciones simultáneas y de estructuras concordantes en sus efectos? Y sin embargo, habéis observado y descrito mutaciones por centenares, por millares. Las grandes poblaciones humanas y animales dan fe de su frecuencia. En todo hombre, el número de genes mutados es muy numeroso. Estas mutaciones son indiferentes, monstruosas o patológicas y siempre, decimos bien, siempre, incoherentes. Y sin embargo, de alguna manera, pretendéis explicar el orden biológico y hacer la evolución inteligible».

Es a estas cuestiones capitales a las que hay que responder ineludiblemente. No se pueden rehuir con falsos argumentos o tergiversaciones. Es algo que se le impone a todo biólogo deseoso de conocer la verdad. Disimularlas es llevar a cabo una obra sectaria impropia de un hombre de ciencia. No se sirve mejor a una causa ignorando la realidad. Por otra parte, en la ciencia no existen «causas» que defender, tan sólo la verdad por descubrir.

Cuántos azares han hecho falta para construir esa extraordinaria criatura que no teme las caliginosas arenas del desierto sahariano, que soporta largos ayunos, economiza el agua, percibe la más ligera vibración del suelo, permanece al acecho durante días y días en el fondo de un embudo o caza libremente a la carrera.

Y no es tan sólo cuestión de que se produzcan, hace falta además que aparezcan en el momento oportuno. Esos azares, siempre felices, claro está, tan sólo han tenido efecto en tanto en cuanto se producen según un cierto orden, porque de manifestarse en desorden, es decir, a destiempo, habrían sido inoperantes.

¿Qué hombre de ciencia se arriesgaría a calcular las posibilidades de que disponía ese torrente, esa cascada de azares coordinados y ajustados entre sí de convertirse en realidad? Son infinitesimales.

Nosotros rogaríamos encarecidamente al lector que tenga presente que el caso de la hormiga león no constituye una excepción elegida por las necesidades de una tesis; esta acumulación de adaptaciones, de coadaptaciones, es la regla. Consideremos el esqueleto humano y sus articulaciones, en las que cabezas y cúpulas articulares encajan con una precisión perfecta y dispondremos de otros ejemplos. Los órganos copuladores de los Artrópodos alcanzan en sus coadaptaciones entre los dos sexos un grado de precisión que nos deja estupefactos. Véase en especial el caso de las libélulas (Odonatos), de los Araneidos, etc., adaptados, además, a comportamientos tan inesperados y tan ilógicos como diversos.

Finalidad y adaptación

Todos los fenómenos vitales se reducen, en último análisis, a fenómenos físicos y químicos. Esto está claro.

La inmensa mayoría de las sustancias que componen al ser vivo

o que intervienen en su funcionamiento (aporte, transferencia de energía, síntesis), contienen carbono, un metaloide que por sus singulares propiedades se presta a infinidad de combinaciones que dan lugar a estructuras de gran complejidad que, en ningún caso, alcanzan los demás cuerpos simples.

Los seres vivos, debido a su estructura, su arquitectura, su naturaleza química y su estado físico adquieren propiedades que les diferencian de los cuerpos llamados inanimados, aunque nunca transgredan su marco fisicoquímico. *La complejidad de las estructuras y de sus constituyentes hace aparecer propiedades que les son inherentes y que, como consecuencia, no pueden manifestarse en los cuerpos inanimados*. La vida es el movimiento, el desequilibrio y el restablecimiento del equilibrio entre las partes de un todo, armoniosamente solidarias, que reaccionen ya sea las unas con las otras, ya sea contra las influencias del medio.

Las propiedades de lo viviente, a pesar de los innumerables estudios de que han sido objeto, no son conocidas más que imperfectamente. Esto es evidente cuando se trata del sistema nervioso, del comportamiento o del pensamiento. No tenemos la más mínima idea acerca de los factores internos que, a lo largo de la regeneración presiden la restitución de la forma, ni de muchos otros temas, incluida la finalidad inmanente de que da prueba todo sistema animado denominado ser vivo.

No cabe duda de que el vitalismo ha muerto, de que está definitivamente muerto, pero esto no quiere decir que conozcamos todo lo referente a los fenómenos vitales.

Los seres vivos se presentan como consorcios de órganos cuyas funciones concuerdan, se completan, se frenan o se estimulan las unas a las otras. En tanto que fenómenos fisicoquímicos, no escapan al determinismo universal.

En ellos, las partes están dispuestas, coordinadas de tal forma, que crean un estado nuevo, la vida, y lo mantienen.

El ser vivo no es en absoluto pasivo, y a toda variación de su medio externo o de su composición interna opone una reacción, que no es fortuita, y tiende a devolverlo a las condiciones que le permitan subsistir y persistir.

La finalidad inmanente o esencial de los seres vivos se clasifica entre sus propiedades originales. Ésta no se discute, se constata **[79]** .

Sus denegadores, RABAUD, MATISSE y otros biólogos, hablan más de la finalidad transcendente que de la inmanente. Sus críticas tienen por blanco los excesos de algunos darwinistas cuyo finalismo beato es similar al de BERNARDINO DE SAINT-PIERRE. Sustituyendo la palabra Providencia por Selección Natural, todo lo demás es lo mismo. Y es que la doctrina darwinista, si llevamos su lógica hasta el extremo, propone e impone una visión totalmente optimista de la naturaleza: cada ser ocupa un lugar útil; cada órgano, cada función, son el producto de una selección que les hace alcanzar una perfección real.

A pesar del equilibrio de las faunas y las floras, y a pesar de la calidad de las adaptaciones, la realidad resulta menos brillante. No faltan en absoluto los fracasos y los hechos contradictorios. Hemos hablado ya de ellos y aún podríamos decir mucho más en este sentido.

Los darwinistas han acuñado las palabras pseudoteleología, teleonomía, para designar la finalidad al tiempo que la niegan. Las apariencias son engañosas (nos recuerdan), los materiales de la vida son siempre fruto del azar; lo que se toma por finalidad no es sino el resultado de la puesta en orden de materiales fortuitos por parte de la selección natural. Incluso aunque esta aseveración estuviera fundada, y no es así, el demonio de la finalidad no quedaría exorcizado, ya que la selección es, por esencia y función, el agente finalizador número uno.

En realidad, los términos pseudoteleología, teleonomía, rinden homenaje a la finalidad, de la misma manera en que la hipocresía rinde homenaje a la virtud.

GIARD (1905) mismo, mente sutil aunque cegada por un estúpido anticlericalismo, llegó a renegar incluso del Lamarckismo y a escribir: «Para explicar las maravillosas adaptaciones como las que vemos en las orquídeas y los Insectos que las fecundan, tan sólo tenemos estas dos opciones: la intervención de un ser soberanamente inteligente y la selección». Seguramente no sometió a examen crítico serio lo que creía que era un dilema, ya que hubiera descubierto que substituía la divinidad por su equivalente, un agente efector y finalizante, en definitiva transcendente: la selección natural. PAUL WINTREBERT, ateo impenitente, incluso intratable, no cayó en la trampa y comprendió a la perfección que

la alternativa propuesta por GIARD abocaba, cualquiera que fuera la opinión inicial, a reconocer la intervención de un agente determinante, director.

La concepción giardiana, que es la de muchos ateos y «librepensadores», da de Dios una idea singular y un tanto mezquina. Es un todopoderoso que en todo momento está obligado a premodelar y retocar su obra, que se encuentra en jaque continuamente a causa de obstáculos que su «omnisciencia» no le ha permitido prever. No es ni tan siquiera un semidiós, no es más que un triste fantasma de dios, poco más que una vaga deidad al uso de los cientificistas, que razonan al revés.

La naturaleza tiene sus leyes. El determinismo de las cosas que dimanan de causas primeras es suficiente para explicar los fenómenos que se producen en el universo material, ya esté compuesto de materia inerte o de seres vivos.

No recurrimos a Dios en las realidades *en las que no tiene necesidad de intervenir*. El acto creador único, absoluto, ha bastado.

La evolución y el mundo de lo vivo, oponen a nuestra sed de comprensión obstáculos contra los que chocamos indefectiblemente. Sigamos, aún así, nuestro camino y acabaremos por saber. El dilema de GIARD, que los darwinistas han adoptado sin reservas, es un falso dilema; no tenemos por qué tenerlo en consideración.

Más modestos que los darwinistas, nosotros no pretendemos conocer al autor de esta finalidad, que de hecho desborda con mucho la supuesta obra de la selección natural, ya que nos encontramos con ella en todo ser vivo y a todos los niveles. La vida aparece como ligada a la finalización de un sistema fisicoquímico complejo y estructurado, lo que a la hora de la realización no suprime lo aproximado, incluso lo no logrado.

Sin obstinarse en torno a su fundamento y su naturaleza, constatemos que lejos de suprimir o eludir el determinismo, la finalidad biológica inmanente implica un determinismo riguroso y canalizado, absolutamente opuesto al azar.

La noción de función fisiológica implica la ejecución por parte de un órgano o un sistema de órganos de algo preciso, definido y constante de lo que depende la supervivencia del ser. Si la función no se cumple, la vida se detiene. La finalidad inmanente nos parece

evidente[80]. CLAUDE BERNARD y la mayoría de los fisiólogos han compartido esta certeza. Se les tacha de finalistas. ¿Desde cuándo es reprensible constatar un hecho?

La finalidad inmanente es una propiedad intrínseca de los seres vivos; sin ella no existirían. Sus constituyentes (órganos, tejidos, células aisladas), considerados en tanto que unidades funcionales autónomas, al igual que el resto de sus propiedades (nutrición, defensa del organismo, crecimiento, reproducción), están subordinados a un fin. Cuando se trata de estas propiedades, los biólogos no discuten; pero si se pronuncia la palabra finalidad, se ponen en guardia. Probablemente sea porque no distinguen la finalidad de hecho o inmanente de la finalidad transcendente. Sobre esta última, el biólogo tiene poco o nada que decir; pertenece al terreno de la metafísica.

Tampoco tiene el biólogo por qué pronunciarse en cuanto a la significación de lo viviente en el macrocrosmos, problema que no pertenece a su disciplina y que hace intervenir una finalidad, real o supuesta, sobre la que no puede actuar.

La finalidad inmanente se manifiesta en la vida en sí, ya que ésta tiende a conservarse y propagarse. Si esta tendencia no es muestra de una finalidad de los fenómenos fisicoquímicos, renunciamos a asignar un sentido a la palabra *fin*.

La finalidad no tendría por qué producir más sorpresa que la asimilación, el crecimiento, la reproducción o la regeneración, si no se la cargara de no sé qué misticismo o vitalismo con el que nada tiene que ver.

En el sistema darwinista, el ser vivo es pasivo, padece; no desempeña papel activo alguno en su transformación. Por lo tanto, la finalidad inmanente *no puede venir de dentro*; es introducida desde el exterior por un agente transcendente, la selección natural, cuya acción se ejerce sobre el individuo, en favor de su persistencia, y, por consiguiente, de la persistencia de la especie. Hacer intervenir la necesidad puede, en definitiva, atenuar la pasividad «darwiniana» de lo viviente, pero, como mostramos más adelante, la necesidad no es el motor principal de la evolución.

Algunos filósofos de la naturaleza, entre otros MATISSE (1942), argumentan, para combatir el finalismo, que en el mundo inanimado la finalidad no se pone de manifiesto, y tras afirmar que

el ser viviente no es más que una suma de fenómenos fisicoquímicos, concluye la inexistencia de finalidad en el biocosmos.

El ser viviente, entendámonos bien, no es simplemente una suma de fenómenos fisicoquímicos, sino más bien la integral de todos esos fenómenos. La estructura y la organización espacio-temporal son las animadoras del conjunto, que constituye un sistema coherente cuyas partes están perfectamente coordinadas.

Así, pues, el error de razonamiento en el que cae MATISSE es flagrante. No se pueden comparar dos estados (el de la materia inerte y el del ser vivo) que, si bien obedecen ambos a las leyes de la física y de la química, difieren profundamente.

El error es aún mayor que el que se cometería comparando una piedra del camino con el Palacio de Versalles. La vida emerge de un sistema organizado del mismo modo que la electricidad es producida por una central térmica o termonuclear, con la pequeña diferencia de que la vida no es una forma particular de energía, como la luz o la electricidad. Es acción. Acción que se lleva a cabo por recurso a las más diversas energías.

En lo que respecta al ser viviente, en tanto que sistema autónomo con sus partes rigurosamente integradas en un todo surgido de otro sistema idéntico a él, funciona por sí mismo sin ayuda de ingenieros ni mecánicos.

La muerte diferenciadora y la prima de supervivencia son los instrumentos de la selección natural que se convierte, en la doctrina, en un ser dotado de razón encargado de la instauración de lo bien hecho, de lo que funciona perfectamente en el mundo de los seres vivos. Separa lo inútil de lo útil, la cizaña del buen grano. Decide el destino de todo ser viviente, de toda población.

Hétenos aquí sumergidos en plena transcendencia: toda organización y todas las funciones son dirigidas por ella. Los materiales que componen los seres vivos son organizados por ella. Así, el mundo viviente en su totalidad está sometido a una transcendencia que tan sólo encuentra equivalente en la voluntad de finalidad del hombre.

El darwinismo, por el papel que atribuye a la omnipotente selección natural, hace transcender el mundo viviente por medio de fenómenos que crean una finalidad. Esta selección natural, que

opera en beneficio del mantenimiento y el bienestar de animales y plantas (y, por lo tanto, del hombre), aparece como la gran ley organizadora del mundo viviente.

Así, los darwinistas, que creían haber ahuyentado de sí el finalismo y la transcendencia, al no haber sometido la noción de selección a un análisis crítico no han percibido ni sus implicaciones, ni sus consecuencias de orden metafísico.

Sus partidarios han creído que quedaban libres de toda interpretación finalista o teísta decretando que, aquí abajo, todo es engañosa apariencia: la finalidad sería un espejismo, la evolución orientada una ilusión. ¿Cómo comprender esta actitud? No se puede pretender que la naturaleza (con o sin mayúsculas) copie al hombre, que es su más reciente creación. Por lo tanto, hay que admitir, desde una perspectiva darwinista, que trabaja a ciegas, sin inteligencia, pero que, gracias a una buena fortuna infinitamente providente, construye mecanismos tan sutiles que nosotros ni siquiera hemos terminado de analizar su estructura ni tenemos la menor idea de los principios físicos y de funcionamiento de algunos de ellos.

El ser vivo, merced a sus sistemas reguladores, concilia dos exigencias: se adapta a las circunstancias, a la vez que mantiene su equilibrio y su unidad. Pero sus facultades de adaptación no son ilimitadas: ya hemos dado pruebas de ello.

La ley general de lo viviente podría expresarse por medio de una fórmula que contiene una aparente contradicción: ser que fluctúa en el equilibrio. La paradoja es tan sólo aparente. *Todo ser vivo* posee a la vez un sistema de funcionamiento normal y sistemas de equilibrio, de compensación frente a las alteraciones del medio.

Se deriva de esto que, desde el Protozoo al Mamífero, todo ser posee una facultad de regulación cuyos efectos se distribuyen en una serie de categorías, a saber:

1.o Reacciones inmediatamente adecuadas (autoadaptativas, lamarckianas).

La mayor parte de los fenómenos de regulación, desde la hipertrofia compensadora a la inmunidad, se inscriben en esta categoría. Todo ser viviente es rico en dispositivos y propiedades que le permiten paliar las dificultades y las agresiones que le

amenazan. Así, tenemos las células contra el polvo del pulmón, la reactividad de la capa de Malpighi de la piel a los roces mecánicos, la génesis de pigmentos en la dermis bajo los efectos de la insolación, etc.

2.º Reacciones de comportamiento que son respuestas apropiadas a los mensajes sensoriales que informan al organismo acerca de las circunstancias exteriores. El animal, a una sensación o a un mensaje, opone una reacción automática que le aleja del peligro, le procura alimento o le permite encontrar un congénere [81] … La mayoría de los mecanismos reguladores del comportamiento son parte integrante del patrimonio hereditario de la especie.

Estas dos categorías de reacciones son biológicamente finalistas y en absoluto *aleatorias*; la regeneración restituye el miembro perdido por el tritón; la pérdida de un riñón provoca la hipertrofia de su simétrico restante; todas las reacciones que regulan el equilibrio interno (homeostasis) constituyen una demostración indiscutible de esto.

A veces, el organismo no responde de modo adecuado a algunas variaciones del medio (o a algunos agentes agresores). La reacción puede ser inadaptativa o indefinida, como decía DARWIN. Las reacciones de algunos Crustáceos (*Artemia*…) ante el aumento de salinidad o a la administración de drogas en diversos animales pertenecen a esta categoría.

Siguiendo con [e35] las especies, el poder regulador cambia o no interesa a los mismos órganos o funciones. La facultad de regeneración está muy desarrollada en los Anfibios Urodelos, pero es muy débil, o nula, en los Anfibios Anuros.

Las reacciones de las plantas de llanura al ser transportadas a gran altura nos han demostrado que la capacidad reguladora varía mucho de una especie a otra.

Las relaciones de la evolución con la finalidad son numerosas y, en ocasiones, difíciles de detectar. La marcha de la evolución hacia una mayor complejidad, hacia un siquismo más penetrante, más refinado, es indudablemente finalista. En el desorden, en lo no orientado, la evolución cesa. Tal como hemos establecido, en el seno de las líneas tiende a realizarse una cierta forma, un determinado plan de organización, el *idiomorfo*, que desemboca en

un éxito o un fracaso. La finalidad biológica no es una Providencia que vigila a la naturaleza evitándole los pasos en falso, los errores. Es independiente de lo que designemos, realizando un juicio de valor, como útil, perjudicial o indiferente en relación con el individuo o la especie. El animal o la planta siguen una línea evolutiva y permanecen fiel a ella, les sea o no favorable.

La «invención» no es nunca, en el ser vivo, producto de una mutación. La invención cambia, pone en relación, ajusta entre sí diferentes órganos o partes de órganos. Crea un dispositivo que asume una función definida, integrado en la unidad que constituye una planta o un animal. Estas «invenciones» son las que una nueva ciencia, la «biónica», tiene por misión descubrir.

Toda invención humana concretiza lo que denominamos una idea, o un plan, lo que tal vez quedaría mejor definido por el término esencia. *Ignoramos por completo lo que acontece en la invención biológica*. La noción de plan, de proyecto, no da pábulo a la experiencia. La ontogénesis y el mantenimiento del organismo obedecen a órdenes y mecanismos innatos y automáticos que están inscritos en el código genético y nos resultan inaccesibles. Por el contrario, las conductas sí permiten la experimentación, y su mecanismo ha podido, en diversos casos, ser disociado íntegramente en sus partes.

La realización de un plan no resulta de una tirada de dados. Se impone recurrir a un antiazar. El de los darwinistas es la selección natural; estamos convencidos de que existen otros más eficaces, que operan directamente en la intimidad de la célula. Hemos subrayado que en la organogénesis filogenética, la selección natural, para ser eficaz, debe ser *profética* cuando actúa sobre las primicias de una invención en germen. Recurrir a un azar feliz en cada etapa de la evolución, ¿no es acaso arriesgarse a hastiar a ese dios complaciente recurriendo a él demasiado a menudo?

El papel asignado a la selección natural en el establecimiento de las adaptaciones, aunque revista una aparente verosimilitud, no está respaldado por *ningún* dato incontestable. La paleontología (véase el caso de los Teriodontos) no le es favorable; la observación directa, de hecho, de la génesis de una adaptación hereditaria falla excepto (como ya hemos comentado) en el caso de las Bacterias y los Insectos preadaptados a resistir a los virus o las drogas. La

formación del ojo, del oído interno, de los Céstodos, de la ballena —no parece posible por preadaptación—. Por otra parte, la paleontología nos muestra que la evolución de los huesecillos del oído medio ha tenido lugar con una extremada lentitud, por la adición unívoca de pequeños cambios; la preadaptación no tiene nada que ver, por tanto, en este proceso.

El papel de la selección natural en el mundo viviente actual concierne al equilibrio de las poblaciones; interesa, en primer lugar, a la demografía. Afirmar que la dinámica de poblaciones da una imagen de la «evolución en acción» es una opinión gratuita, si no un postulado, que no se apoya sobre ningún hecho que pruebe que las transformaciones en los dos reinos hayan estado ligadas esencialmente a cambios en el equilibrio génico dentro de las poblaciones. Las circunstancias conceden a veces una prima de selección a tal o cual mutación, pero durante un tiempo de duración variable, lo que queda atestiguado por la heterogeneidad de las poblaciones, consecuencia de la abundancia de alelos de un mismo gen y de la composición de ésta en el tiempo. Los estudios realizados sobre las poblaciones naturales en su propio medio revelan que la composición génica es vacilante y que las especies dominantes cambian en el transcurso del tiempo. El libro de FORD (1971) no dice otra cosa; en cuanto a encontrar la prueba de la formación de nuevas especies, hay que renunciar al intento.

La dinámica de poblaciones depende de la influencia que ejerce el medio sobre los organismos y de la selección de genotipos en función de ésta. La composición génica de las poblaciones cambia continuamente con la aparición de mutantes: desde hace decenas de millones de años, las poblaciones de drosófilas han venido sufriendo millones de mutaciones. ¿Con qué resultados? Las ínfimas modificaciones que DOBZHANSKY y sus colaboradores o discípulos (1968) han logrado descubrir tras un laborioso análisis. Esas fluctuaciones génicas, pequeñas y desordenadas, no ponen en marcha ninguna línea; no poseen, al parecer, ninguna vinculación con el gran proceso que ha hecho aparecer los fila y los subfila de organización. El lector averiguará en los siguientes capítulos el lugar y la significación que asignamos a las variaciones de la constitución génica de las poblaciones naturales.

No existe experiencia alguna que legitime la identificación de los

cambios demográficos de las poblaciones con una etapa de la evolución, proceso creador de toda novedad.

7. Evolución y necesidad

Qué es la necesidad biológica: su confusión con la utilidad

El filósofo, que considera al universo en su totalidad, se ve abocado a admitir un único ser necesario, absoluto: Dios. Todos los demás son contingentes; por ello, PASCAL decía de sí mismo: «Siento que yo podría no haber sido…, por lo tanto, no soy un ser necesario» (*Pensamientos*, 597). Esta proposición se aplica con igual exactitud a todo ser viviente.

Pero sin necesidad de dirigir la vista a las más altas cotas de la metafísica, detengámonos en objetos más accesibles, la realidad física. Con arreglo a nuestro punto de vista, necesario es lo que no puede ser de otro modo; concepto que se aproxima al de ARISTÓTELES, y adoptado por los filósofos KANT, HEGEL, STUART MILL…; a saber: «Bien se trate de seres, sucesos o verdades, quien dice necesidad dice imposibilidad de lo contrario».

La necesidad causal, a propósito de la cual tanto se ha discutido entre los pensadores, se acomoda muy bien a esta definición. Toda demostración matemática o geométrica *per absurdo* consiste en revelar la necesidad de una o varias condiciones.

La figura «triángulo» está formada por tres rectas pertenecientes al mismo plano, que se cortan todas ellas entre sí. Todas estas condiciones son necesarias, y si queda insatisfecha una de ellas, el triángulo no tiene existencia. La existencia del objeto matemático está ligada a una necesidad absoluta.

La necesidad biológica se presenta de otro modo y, bajo este término, se han confundido recientemente varios conceptos.

La vida es un epifenómeno que surgió de un sistema complejo,

estructurado y autónomo, constituyendo un objeto dotado de una irreductible individualidad.

Son necesarias algunas condiciones relativas a la naturaleza química de sus constituyentes y a su ordenación (a las funciones que éstos suscitan) para que el ser organizado viva.

Las que precisan las bacterias son proteínas, incluyendo enzimas, ADN, ARN, ATP, membrana; en el caso de las células eucariótidas, son necesarios los mismos constituyentes, además de un núcleo, en el cual las macromoléculas de ADN, asociadas o combinadas con diversas proteínas, forman los cromosomas, las mitocondrias con su ADN, el aparato de Golgi y el ergastoplasma. En las células vegetales son necesarios, además, unos plastos impregnados de clorofila que contienen también ADN. Esta constatación nos permite admitir que en todo ser viviente coexisten estructuras, cadenas de reacciones químicas, unas fundamentales y las otras accesorias. Sin duda, esta distinción tiene algo de arbitrario, ya que en toda planta, en todo animal, las dos clases están unidas. Pero tiene la ventaja de mostrar lo que es inmutable en lo viviente, es decir, lo que es necesario, y lo que es dinámico, lo contingente.

La noción de necesidad biológica se clarifica aún más cuando se mira desde un punto de vista evolutivo. Seguramente sea una perogrullada decir que el primer ser viviente, formado por materiales prebióticos, satisfacía plenamente las condiciones «necesarias» para la vida, condiciones inmutables y realizadas en los dos reinos. Esta perogrullada, que no está de más expresar, muestra dónde se sitúa la verdadera necesidad: allí donde su satisfacción es la condición *sine qua non* para la existencia de la vida.

Una vez finalizada la biogénesis, la evolución no ha vuelto a afectar a lo absoluto, sino a lo contingente; *dicho de otra manera: lo necesario se ha visto sustituido por lo útil*.

Algunos bioquímicos que han escrito acerca de la evolución no la han comprendido. En todo ser viviente se reconocen tres categorías de caracteres: los necesarios, los útiles y los indiferentes (en ocasiones perjudiciales). Los primeros son absolutamente indispensables, los segundos son contingentes e inconstantes; finalmente, los terceros están distribuidos irregularmente entre las especies que pueblan los diversos medios del planeta.

De este modo, sobre un fondo inmutable y necesario, la evolución ha ido diversificando hasta el infinito los dos reinos.

Saber si la diversidad de los planes de organización y de las formas era útil, es otra cuestión. La evolución ha facilitado la conquista de diversos medios; pero ¿es esto seguro? Las Bacterias y las Fanerógamas existen por doquiera a pesar de la uniformidad de su arquitectura.

Vayamos más allá. ¿Qué harían los Reptiles con su paladar secundario, con una mandíbula reducida al dentario, con sus caracteres de mamífero? Los lagartos, las serpientes y las tortugas han persistido a pesar de que su cavidad bucal no esté cerrada y de que su mandíbula tenga una estructura compleja. El paladar, por otra parte, existe sin otros caracteres premamíferos en los cocodrilos, que casi con seguridad no podrían inscribirse en la genealogía de los Mamíferos.

Así se hace la luz sobre la diferencia que separa lo necesario de lo útil en el plano biológico. *Los Teriodontos no tenían ninguna necesidad de adquirir un paladar secundario*, que sólo ha tenido una utilidad real a nivel de los Mamíferos, creando en el esplacnocráneo dos pisos superpuestos y diferentes: el respiratorio y el alimentario **[82]**.

Los darwinistas ortodoxos (HALDANE, FORD, J. HUXLEY…) han eludido la confusión, tan peligrosa para el biólogo como para el filósofo, de lo necesario con lo útil; casi nunca hablan de lo primero, que tan sólo interviene a propósito de procesos biológicos fundamentales.

La doctrina darwinista implica que la selección sea «motivada» por la necesidad que «siente» el ser viviente de adquirir o modificar algo de sí mismo, mejorando así su condición.

La necesidad, en tanto que causa posible de la evolución, se pone de manifiesto cuando el organismo se encuentra en estado de desequilibrio con su medio, tanto el exterior como el interior. La alteración del medio produce un desarreglo en el animal o la planta que, para ser compensado, exige la puesta en marcha de un mecanismo regulador. Si, por desgracia, falta ese mecanismo, o no es suficiente, el organismo muere. Los sistemas reguladores «velan» para que las necesidades se vean satisfechas antes de que se hagan sentir.

La necesidad no existe para el mutante preadaptado que, de repente, se encuentra acomodado al nuevo medio. La evolución procede entonces sin el acicate de la necesidad, impulsada precisamente por el escamoteo de ésta por efecto del azar y nada más que del azar.

Se puede trasladar también la necesidad, no ya al individuo, sino, a la manera de los darwinistas, a la población desequilibrada por un cambio del medio. La población en cuestión se encuentra, para sobrevivir **[83]**, en la necesidad de contener en sí misma las variantes (mutantes) preadaptadas a las nuevas condiciones ambientales.

La selección excluye de la población a los individuos en estado de necesidad, a los «indigentes»; conserva a los aptos, a los equilibrados, a los estables. El papel de la «necesidad» aparece ante todo como algo negativo. Es el resultado de la preadaptación aleatoria lo que satisface, sin ley ni norma, las necesidades de la población. Los perpetuadores de la especie, los evolutivos, serían los preadaptados aleatorios, y exclusivamente ellos.

En la tesis lamarckiana, mantenida y modificada por WINTREBERT, la necesidad adopta un carácter muy diferente. Estimula el organismo y le impone el cambio. Es lo que WINTREBERT ha expresado con sorprendente brevedad: *Lo viviente como creador de su evolución*, título de uno de sus libros. Por el momento, nosotros no pretendemos averiguar qué parte de verdad o de error tiene esta tesis. Señalemos tan sólo que hace desempeñar a la necesidad un papel positivo en la evolución, mientras que, según el darwinismo, toda novedad biológica nace del azar; la «necesidad», real o supuesta, provoca el rechazo de los que la sufren sin poderla satisfacer.

Algunos animales y plantas consiguen satisfacer sus necesidades más fundamentales de diversas maneras. Hemos hablado ya de la «mixotrofia» de los Flagelados verdes y de algunas Algas. Así, la célula tiene necesidad de oxígeno para respirar y poder llevar a buen término sus ciclos químicos. Y, sin embargo, algunas especies introducidas en un medio carente de esta sustancia salen adelante recurriendo a una reacción fermentativa que les permite realizar, en ausencia de esa sustancia gaseosa, sus oxidaciones indispensables, sin las cuales no podrían obtener la energía que necesitan para

sobrevivir (Insectos). Los vegetales superiores inmersos en una atmósfera carente de oxígeno, si disponen de una cantidad suficiente de glúcidos, ya sea en su propio cuerpo, ya sea en el medio, realizan una fermentación alcohólica (RADIS DE MOLLIARD, 1907). Las levaduras y numerosas Bacterias son aerobias o anaerobias según contenga o no oxígeno libre el medio.

El ser vivo no responde a la necesidad de manera uniforme: recurre para satisfacerla a soluciones variopintas. Nada de esto es observable en lo «necesario» del matemático, del geómetra que, maestros de su axiomática, lo son también de la necesidad que ésta condiciona.

La estructura, en cierto modo «filosófica» del ser vivo, explica la diversidad de las respuestas de éste a los cambios de circunstancias. Porque en su complejidad orgánica y funcional, da lugar a un mosaico en el que se yuxtaponen lo necesario, lo contingente, lo útil y lo nocivo. La génesis de semejante constitución no puede explicarse por medio de una causalidad unívoca.

Convendría añadir a esta escala de «valores» los caracteres de «lujo»: colores, ornamentos variados, cuya presencia no condiciona ni la existencia del individuo ni la de la especie.

La diversificación de los seres vivos, que resulta de su evolución, probablemente no esté determinada por una necesidad. Se puede argumentar que es consecuencia de una exacta adaptación de cada especie a un biotopo, a un nicho particular, pero esta adaptación, por su carácter siempre relativo, no corresponde a lo absoluto de lo necesario.

Esta tesis tiene como consecuencia que se cuestione la realidad de las especies simpátricas. Y, sin embargo, tales especies son comunes en los grandes medios homogéneos. Los Copépodos, Anfípodos, etc., que viven en alta mar, tienen géneros ricos en especies, pescados muy frecuentemente en el mismo golpe de red para plancton. Se observan hechos de este mismo orden en las poblaciones de las praderas, de las pampas, de las estepas… Difícilmente se puede explicar la génesis de las especies simpátricas bajo la presión de una sola necesidad.

Los darwinistas pasan grandes apuros para explicar la presencia, en un mismo biotopo, de dos, tres, cuatro o incluso más especies de un mismo género. Teóricamente, en un medio dado no conviven

genotipos diferentes. Existe una antinomia entre la simpatría y el axioma de la supervivencia del más apto.

Necesidad y persistencia de las formas-tronco

La evolución puesta al descubierto por los restos fosilizados de plantas y animales no se ofrece a la investigación con los caracteres que las teorías le atribuyen.

De un tronco madre nacen variantes que se perpetúan a través de sus descendientes dando una o varias líneas, *pero en numerosos fila, clases u órdenes, los troncos, los tipos originales, persisten también*. Este estado de cosas nos lleva a plantearnos la siguiente cuestión: ¿Cuál es la necesidad que hace variar al tronco, si éste sigue existiendo y prospera en su forma inalterada, y esto desde hace un tiempo extremadamente largo? Las especies reliquias plantean también, y de modo insistente, esta cuestión. No estarían tan mal adaptadas como se pretende, puesto que han perdurado.

A veces, incluso cohabitan el antepasado y el descendiente: la zona rectal del abdomen de las termitas inferiores contiene toda una fauna de flagelados grandes y complejos que digiere la madera ingerida por el insecto, comportándose como simbiontes. En la misma zona nadan, junto a *Hexamastix, Trichomonas*, diversos géneros próximos: *Foaina, Devescovina*, etcétera, y especies de gran tamaño: *Trichonympha, Joenia, Pseudotrichonympha, Staurojoenina*, etc., cuya complejidad estructural ha avanzado mucho. Los zoólogos están de acuerdo en considerar a los *Trichomonadidos* como antecesores de todos estos géneros y otros que no citamos. Estos Flagelados, a partir de los mismos antecesores (*Eutrichomastix, Trichomonas*), y, aun habitando el mismo medio, se han diferenciado en siete u ocho líneas que han evolucionado por caminos muy divergentes y perfectamente caracterizados.

En otras faunas de Protozoos o de Nematodos parásitos, en las que *todos* los individuos se ven sometidos a las *mismas* condiciones, las especies arcaicas prosperan igual que las más complejas aunque menos antiguas, incluso resisten mejor el ayuno y la falta de agua. La diferenciación de los órdenes, géneros y especies se ha producido sin que la selección haya tenido oportunidad de intervenir.

El registro paleontológico plantea al evolucionista un problema

casi idéntico.

Por ejemplo, los Tarsiidos, los Lémures, los Simios y algunos otros subórdenes, que no han sobrepasado el Oligoceno inferior, han surgido a partir de un mismo fondo de insectívoros. *Estas líneas no pueden estar vinculadas a la misma necesidad*, ya que, si no, no se habrían diferenciado. El dilema es, pues, el siguiente: o bien la necesidad no interviene para nada, o bien el tronco no es homogéneo y se encuentra escindido en poblaciones aisladas cada una de las cuales tiene su propia necesidad. A cada necesidad corresponde una línea. Esto equivale a plantear la pregunta: ¿puede una misma necesidad satisfacerse de formas diferentes?, o ¿acaso no les fue impuesta ninguna necesidad a los organismos en evolución?

La teoría darwinista se siente a disgusto ante estos hechos. No explica cómo de un mismo tronco pueden partir varias líneas. En efecto, se le hace necesario admitir que el tronco llevaba en sí mismo tantas necesidades como líneas aparecidas para satisfacerlas.

Los darwinistas no dejarán de argumentar que un mismo tronco habría experimentado necesidades diferentes en momentos diferentes, y de ahí la multiplicidad de las líneas surgidas sucesivamente de los mismos antecesores. Claro está, el campo de las hipótesis está abierto de par en par para el biólogo imaginativo, pero ¿de qué valen entonces las explicaciones?

Finalmente, nos vemos en la obligación de reconocer que el tronco de una línea mantiene con su descendencia dos tipos de relaciones diferentes:

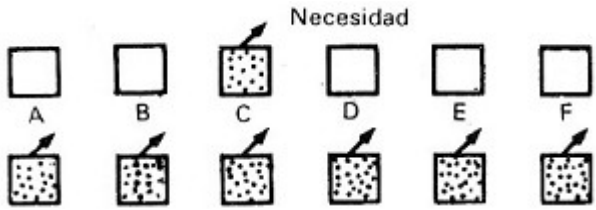
1.º Se mantiene intacta o poco cambiada y prosigue su andadura mientras las nuevas líneas que ha engendrado continúan evolucionando con arreglo a su propio esquema: el opossum (*Didelphis*), que, a pesar de algunos detalles menores, es la viva imagen del *Eodelphis*, que vivía en el Cretácico superior (Alberta, Canadá) y que da unas muestras de vitalidad que sobrepasan a las de las especies sudamericanas o australianas más evolucionadas que él.

2.º Alternativamente, se transforma, y sigue insensiblemente a lo largo de su nueva línea. Parece que esto ocurrió en el caso de los Reptiles Teriodontos que, por adición de pequeños cambios, llegaron a Mamíferos.

Si admitimos que en estos dos casos la necesidad ha sido el

motor de la evolución, se sigue que:

A) Si el tronco persiste, la necesidad no existía más que para una población de la especie ancestral (línea de arriba del esquema):



B) Si el tronco desaparece, la necesidad existía en todos los individuos que lo representaban (línea de abajo del esquema).

Pero de todo lo anterior, lo más importante es que, en algunos casos, la formas originales cohabitan con sus descendientes modificados. Un hecho como éste contradice la existencia de la necesidad.

Necesidad, selección y poblaciones heterogéneas

Existen diversos hechos que hacen dudar acerca del papel atribuido a la necesidad y a la selección en el proceso evolutivo.

Reflexionemos acerca de lo insólita que es (desde un punto de vista darwinista) la población de una charca. En el limo viven Bacterias, Amebas, Flagelados, Nematodos, Moluscos, larvas de Insectos… Sin duda, se dirá que este biotopo no es simple y que se compone de varios nichos ecológicos, de ahí su diversidad de habitantes.

Esta objeción carece en absoluto de valor, ya que el limo de una charca es un medio homogéneo; su superficie, cubierta a menudo de Bacterias, es sensiblemente diferente del resto, pero el agua del fondo es (en un espesor de algunos centímetros) un medio de composición homogénea.

La cohabitación entre especies pertenecientes a grupos sistemáticos muy diferentes nos enseña que, en un mismo medio, existen diferentes sistemas biológicos que pueden asegurar la supervivencia tanto de los unos como de los otros. Las Amebas, los Coanoflagelados coloniales y los *Bodo* saltadores, los Espirostomas, las Vorticelas coloniales y otros Ciliados, las Planarias, los Rotíferos,

los Nematodos…, aunque construidos según planes totalmente diferentes y sin lazos de parentesco directo satisfacen, *en un mismo medio*, todas sus necesidades.

En vano buscaríamos la necesidad que hace transformarse a la Ameba en Flagelado, al Flagelado en Ciliado, al Protozoo en Metazoo…, y así sucesivamente.

Todos los animalitos de la charca varían, mutan como las demás especies. Las necesidades que inducen las variaciones del medio no suscitan en ellos una evolución que, teóricamente, debería ser convergente (respuesta a los mismos agentes fisicoquímicos). Cada grupo conserva sus características; las pretendidas «necesidades actuales» se muestran impotentes para hacerles evolucionar.

De lo precedente no puede menos que concluirse que para el mantenimiento del ser viviente, la complicación no es en modo alguno una necesidad. El animal, la planta, ya sean uni o pluricelulares, tienen en sí la capacidad de persistir. Esta propiedad está ya incluida en el citoplasma de la bacteria, el ser más simple. Los sistemas reguladores que ésta posee le han bastado para adaptarse a *todos* los medios terrestres, incluidos los inorgánicos, mientras continúa siendo una bacteria.

La necesidad y la génesis de los grandes tipos de organización

Si consideramos los numerosos fila y especies de algas azules (=Cianofíceas), así como la multitud existente de Bacterias y su éxito en todos los medios, tenemos derecho a preguntarnos: ¿bajo el imperativo de qué necesidad, en el curso de su historia, algunas de ellas se transformaron y adquirieron la estructura celular **[84]**?

Los paleontólogos estiman que las Esquizofitas esperaron 2000 millones de años para evolucionar hacia una forma construida con arreglo a un plan diferente al suyo; sitúan el nacimiento de la célula hace alrededor de 1200 millones de años. Después de esto, las Esquizofitas no revalidaron su hazaña, consumada probablemente por un reducido grupo de ellas, una fracción mínima que se había visto afectada por una

necesidad hipotetizada pero totalmente desconocida.

Hay que imaginarse que alguna modificación del medio, localizada en una «cuna» precisa, creó en el seno de determinada población de Esquizofitas cierta necesidad de una cualidad excepcional que tuvo como resultado la génesis de la célula eucariótica[85]. En todos los demás casos, la forma original se mantuvo inalterada.

Sin embargo, ni las Bacterias ni las Cianofíceas han perdido nada de su prosperidad tras la aparición de la célula, cuya presencia no les ha molestado en absoluto, e incluso les ha ofrecido un nuevo medio para poblar.

Aunque hayan padecido innumerables mutaciones en el pasado, se mantienen dentro de un marco estructural acariótido, que se modifica sin evolucionar.

La célula, por su unidad de composición en todos los Eucariótidos, equipada con los mismos constituyentes (núcleo, centrosoma, mitocondrias, aparato de Golgi, ergastoplasma, hialoplasma…), por los ciclos fundamentales comunes que tienen lugar en su seno, impone la idea del monofiletismo de los Eucariótidos.

No disponemos de *conocimiento positivo alguno* acerca de la evolución de la célula. Se presupone que, poco después de su aparición, se diferenció en diversos tipos caracterizados por sus modos de división (unos para los Protozoos y las Protofitas, uno para las Metafitas, uno único para los Metazoos), que no modificaron su plan fundamental.

En el estado actual de la Biología todo concurre para confirmarnos en la idea de que la transformación de la Esquizofita en célula se ha efectuado una sola vez, y que todos los seres uni o pluricelulares de la actualidad son producto suyo.

La historicidad de la evolución queda reafirmada por la «creación única», pero esto no nos aclara nada acerca del hecho de que, transcurrido un lapso de tiempo tan grande, las células de las esquizofitas hayan experimentado una evolución inmensa, mientras que las formas originales se contentaban con seguir siendo Bacterias y Cianofíceas, a pesar de efectuar algunas pequeñas modificaciones.

En realidad, en la evolución creadora sigue sin demostrarse la existencia de un «motor necesidad». Ignoramos y seguiremos

ignorando si fue una necesidad lo que impulsó al *Hyracotherium* a llegar a ser caballo; al *Moeritherium*, mastodonte; al Anfibio, Reptil, y al Reptil, Ave o Mamífero.

Aquél que, en la actual situación de la ciencia, diera respuesta irrefutable a estas cuestiones, habría de ser un genio o un adivino.

El animal como creador de su propia necesidad

La necesidad, como hemos dicho, nace de un desajuste anatómico o funcional, consecuencia de una ruptura del equilibrio entre el ser vivo y su medio.

Algunos neodarwinistas se imaginan que, en ocasiones, nace en el animal una apetencia hacia una condición diferente a la suya, lo que plantea una nueva necesidad: el ser vivo se crea necesidades a sí mismo.

Semejante proposición no concuerda con el neodarwinismo en absoluto. Por el contrario, se aproxima a las ideas de LAMARCK y WINTREBERT, que hacen que el ser vivo participe activamente en su evolución.

No obstante, un darwinista ha hecho suya esta interpretación. Dice: «Si los Vertebrados tetrápodos pudieron aparecer y dar lugar a la maravillosa extensión que representan los Anfibios, los Reptiles, las Aves y los Mamíferos, fue gracias a que en el origen, un pez primitivo "eligió" ir a explorar la tierra, donde no podía, sin embargo, desplazarse más que saltando con dificultad **[86]** ».

Esta opinión, completamente lamarckiana, no es más que una suposición, porque nadie pudo presenciar este viaje, ni la transformación, en tierra firme, de un pez en tetrápodo ambulante; no se apoya en ningún argumento paleontológico **[87]** . Esta opinión concede al animal una facultad de «elegir» que no querríamos en absoluto adjudicarle.

Ya desde 1809, LAMARCK insistía en el importante papel que desempeñan los cambios de hábitos en la transformación de los animales: reconocía que en tales casos la variación tiene por causa inicial no un cambio del medio, sino una intervención activa del individuo.

Es verosímil que el paso de la vida acuática a la terrestre se haya visto precedido en los Crosopterigios rifidistinos por una larga

evolución, que preparó la adaptación al nuevo medio, recurriendo a factores internos. Ésta no ha podido afectar tan sólo a un carácter aislado, sino a todo el conjunto del organismo; las variaciones, para ser significativas y eficaces, estaban obligatoriamente coordinadas y, por consiguiente, no podían depender del azar.

Nos sentimos muy poco proclives a aceptar la historia del pequeño pez, verdadero «Magallanes de la evolución», por el hecho de que los Perioftalmos y los Boleoftalmos reproducen con mucha precisión su «experiencia»; corren sobre su lomo, trepan a las raíces de los manglares y se yerguen sobre sus aletas pectorales, a modo de cortas patas. Viven así desde hace millones de años, y aunque salten continuamente, torpemente o no, sus aletas se obstinan en seguir siendo aletas y no se transforman en patas. En verdad, estos animales son poco comprensibles.

Hace muy poco tiempo, uno de mis colegas me indicó que los Perioftalmos y los Boleoftalmos, habituados desde hace mucho tiempo a marchar y trepar por los manglares utilizando sus aletas, encuentran excelente este estado de las cosas y no quieren abandonar a ningún precio una tradición que les va bien. Quizá teman que al cambiar de costumbres se puedan ver afectados por un excesivo aumento de la presión de selección…

La acción del medio, incluso asociada a un cambio de costumbres, sólo puede determinar una evolución, a nuestro modo de ver, si intervienen algunos factores internos, como exponemos en los capítulos VIII y IX.

Quienquiera que vea en la necesidad la «razón de ser» de la evolución, corre el riesgo de caer en el antropomorfismo. Otra dificultad: ¿Cómo descubrir, cómo medir las necesidades de seres que vivían hace millones de años en un medio para cuya reconstrucción sólo disponemos de algunos fósiles y los sedimentos que los envuelven?

¿Qué necesidad tenían los animales diploblásticos de adquirir una tercera hoja? Podemos elucubrar al respecto cuanto queramos, ya que el papel lo aguanta todo, pero llegar a desvelar la verdad es otra cuestión. Y los diploblásticos, aunque hayan dado lugar a los triploblásticos, persisten y no declinan. No está clara la utilidad de su cambio.

He aquí que nos encontramos de nuevo en el punto de partida.

Cualquiera que sea el ángulo bajo el que queramos considerar el papel de la necesidad como agente eficiente de la evolución, éste resulta dudoso, aun sin contar con nuestra reserva acerca de las funciones fundamentales, ligadas a la manifestación misma de la vida (ciclo del ácido cítrico, génesis de las proteínas…).

La necesidad-utilidad no es el *primus movens* de la evolución biológica

El examen de las formas pancrónicas y arcaicas nos ha puesto de relieve las graves dificultades que nos impiden atribuir a la necesidad un papel determinante en la evolución. Hay otros muchos hechos que se oponen a esta teoría.

El ser viviente adquirió muy tempranamente los mecanismos reguladores que le permitieron soportar sin daño las variaciones del medio. Estaba dotado de lo *necesario* para asegurar su propia supervivencia, a la vez que la continuidad de su especie.

Lo que adquirió, aparte de las estructuras moleculares y anatómicas fundamentales, así como de las funciones primarias, carece ya de relación con la necesidad. Todo es contingente.

¿Para satisfacer qué necesidad han adquirido los hombres, los unos pelo liso, otros pelo crespo y algunos lanoso, narices aquilinas, chatas?… ¿Es necesario para la perpetuación de la especie humana que unos hombres tengan los ojos rasgados, otros la piel negra, que las mujeres tengan menstruaciones, que el hombre venga al mundo entre el meato urinario y el ano? ¿A qué necesidad responden la temperatura variable de los perezosos y la articulación simple (y no doble) de las mandíbulas de los Mamíferos con el cráneo? ¿Qué necesidad ha empujado a los Peces luna (*Mola, Ranzania, Masturus*) a reducir extremadamente su médula espinal (15 milímetros para un individuo de
2,5
metros de longitud y
1500
kilogramos de peso) y a no desarrollar su región caudal? ¿Qué ventaja esperaban obtener de ello? Tales preguntas probablemente no tengan ningún sentido porque ni la necesidad ni la selección parecen haber desempeñado papel alguno en la génesis de esos

extraños Teleósteos, en los que caracteres muy arcaicos (corazón y arcos aórticos que recuerdan a los de los Seláceos y Condrósteos…) van de la mano con caracteres muy especializados.

La evolución ha seguido su camino mientras la necesidad inherente a la realización del ser vivo estaba plenamente satisfecha. Pero ¿quién nos dirá por causa de qué necesidad apareció la vida sobre la Tierra? Esta pregunta no va dirigida al biólogo porque concierne a lo transcendente; deben responderla el filósofo o el teólogo.

Si se recurre a la participación del azar en la génesis y evolución de las formas vivientes, es necesario darle a ésta otro promotor que no sea la necesidad.

En un sistema biológico, la necesidad parece ser la consecuencia ineludible de una finalidad. Sin duda, ella no «finaliza» los fenómenos vitales en mayor medida en la que puedan hacerlo las propiedades geométricas o matemáticas, en sus respectivos campos, con un volumen o un área. Pero integrada en ellos, surge del programa informático que forma parte de, y es realizado por, todo ser viviente.

8. Las actividades genéticas y sus relaciones con la evolución

Introducción

Todo lo que se ha dicho o escrito acerca del mecanismo citológico de la evolución se refiere necesariamente a la hipótesis, ya que el biólogo carece de datos acerca del pasado de la célula, y no le es posible, como hemos establecido, aislar con certeza el proceso evolutivo en el presente.

Sin embargo, la evolución tiene como crisol la célula; en última instancia, es el resultado de un cambio producido en la naturaleza, la arquitectura o en la disposición mutua de proteínas y ácidos nucleicos, así como de la adquisición de nuevos segmentos de ADN (nuevos genes) y de moléculas proteicas.

Es preciso que las novedades, y no sólo las modificaciones de los genes preexistentes, queden inscritas en el patrimonio de la especie, que está representado, según los datos más recientes de la bioquímica, por el ADN cromosómico, mitocondrial y plastidial. Así, las afinidades interespecíficas se concretan en esa sustancia de estructura heterogénea.

En todo ser vivo, un cierto número de genes como, por ejemplo, los que tienen relación con las funciones primordiales, proceden de los antepasados más antiguos (arqueogenes). Los que determinan al filum, la clase, el orden, la familia, el género y la especie, son sucesivamente más recientes, según descendemos en la escala de las categorías sistemáticas.

Dado que el código genético, que garantiza la perennidad de los caracteres estructurales, funcionales y ecológicos de los seres vivos

se confunde con las macromoléculas de ADN [88], y que las secuencias de nucleótidos constituyen conjuntos llamados genes a los que corresponde la realización de ciertos caracteres del ser, se debería poder explorar, por medio de investigaciones cualitativas o cuantitativas, la constitución génica de cada ser vivo, determinando así su parentesco con las demás criaturas.

El código genético es, de algún modo, el libro genealógico de la especie, pero ha sufrido tal cantidad de tachones, tantas pérdidas, compensadas, es cierto, por adquisiciones, que su lectura resulta difícil, o incluso imposible.

A pesar de las dificultades que su objeto plantea al estudio, la ciencia de la herencia, o genética, está notablemente adelantada y es bastante precisa. Entre los hechos que revela, ¿existe alguno que afecte directamente a la evolución y al nacimiento de caracteres nuevos? No puede llevarse a cabo esta investigación sin extrapolar el presente al pasado, con todo lo que eso comporta de hipotetización, incluso de arbitrariedad. El historiador explica el presente en función del pasado; el biólogo, por el contrario, va de lo presente a lo pasado.

La prudencia, el exacto reparto entre la realidad y lo imaginario o interpretativo, deben ser la preocupación constante del biólogo al emprender su reconstrucción del pasado, tarea verdaderamente difícil.

La exploración del genoma

Genes y mutaciones

Se sabe hoy que la secuencia de bases contenida en la molécula en doble hélice del ADN determina la estructura primaria de las proteínas formadas por transcripción, con la mediación del ácido ribonucleico mensajero (ARNm) de la información que contiene. Los elementos constitutivos de la molécula en cuestión son cuatro bases distintas (guanina, citosina, adenina, timina) que se encuentran emparejadas: adenina-timina y guanina-citosina. Se sabe (véase NIRENBERG y colaboradores, 1963; SPEYER y col., 1963) que cada aminoácido de una proteína está codificado por una secuencia de tres bases de nucleótidos o *codón*.

Las combinaciones posibles son 64 (por permutación de 4 bases de nucleótidos en grupos de 3 codones) con sólo 20 tipos de aminoácidos.

La estructura del código es tal, que la sustitución de una base en un nucleótido por otra en primera o segunda posición dentro de un codón, lleva casi siempre a la utilización de un aminoácido diferente, mientras que la sustitución de una base en tercera posición produce un codón sinónimo para el mismo aminoácido.

Definiremos el gen como el segmento más pequeño de la macromolécula de ADN capaz de determinar un carácter constante.

No conocemos más que los genes desvelados por la o las mutaciones que sufren. Todos los que no varían quedan en el anonimato. Tal situación hace extremadamente difícil la detección de los componentes de un genoma.

La mutación o *genovariación* (sobre este punto el acuerdo entre los genéticos y los biomolecularistas es completo), consiste en la sustitución de bases en los nucleótidos del gen señalada más arriba. La sustitución o el desordenamiento de las bases son fenómenos que transforman el gen en otro o en variantes llamados *alelos*.

La mutación se produce cuando la molécula de ADN realiza su replicación; un punto en la copia de la hemimolécula se replica erróneamente. Toda mutación es, si se quiere recurrir a una imagen, el equivalente a un error de pulsación cometido por una mecanógrafa al copiar un texto.

Según el número de sustituciones y sus localizaciones, las rupturas de orden producen efectos más o menos marcados. Se sabe hoy que algunos cambios en los aminoácidos de las proteínas debidos a errores de copia del ADN no tienen incidencia alguna en el ser vivo considerado. Los trabajos de que ha sido objeto la mioglobina, comparándola con la hemoglobina, han demostrado que el 80 por 100 de los lugares homólogos de las cadenas de polipéptidos difieren en su composición en aminoácidos, aunque esas dos globinas tengan estructuras terciarias (replegamientos muy próximos de la molécula sobre sí misma). Sucede que no todos los puntos de estas moléculas son igualmente activos; los más activos son los que menos cambian, o no cambian nada; las modificaciones de otras partes carecen de consecuencias y son mutaciones *selectivamente neutras*, tal y como las describen GOODMAN (1961) y

otros bioquímicos.

El número de genes

Los propios principios de la genética moderna conducen a admitir que un animal complejo debe poseer más genes que un animal simple. Los datos concretos sobre esta cuestión son mediocres, incluso contradictorios.

Los genes de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*) [89] se estiman en 10 000 pares (algunos genéticos dicen que 5000, otros que 15 000). Si U es la tasa de mutaciones para la totalidad del genoma, u la tasa de mutación por gen, y N el número total de genes, se establece la relación: $U = Nu$ o $N = U/u$.

La duda está en u, ya que el genético no dispone de medios seguros para medirla. Las cifras varían entre la unidad y el triple; el margen de error es excesivo y las cifras no tienen más que un valor muy aproximativo.

La frecuencia de las mutaciones en el hombre ha sido establecida en función de algunas enfermedades hereditarias (epiloia, retinoblastoma, aniridia, acondroplasia, albinismo parcial con sordera, anomalía de Pelger y otras). Los datos resultan demasiado escasos como para permitir una evaluación mínimamente precisa de la tasa de mutaciones. Hay quien estima que el número de genes es aproximadamente el mismo en la mosca y en el hombre. ¡Es decir, 10 000 pares!

Esta igualdad resulta sorprendente, incluso muy sorprendente. Aun conociendo la complejidad estructural del insecto, no podemos olvidar que la del hombre la sobrepasa con mucho. ¿Cómo puede un mismo número de unidades de información dar dos seres tan diferentemente complejos? Claro está que es fácil admitir, como hacen los genéticos, que esas diez mil unidades de información «humanas» son cualitativamente diferentes a las «drosofilianas», y que una unidad informativa humana *vale más* que la de un insecto.

Pero nadie puede decir a ciencia cierta si esta hipótesis está suficientemente fundada. El número sigue siendo el mismo, y diez mil pares de genes parecen pocos para realizar una criatura humana.

Si el aforismo de BEADLE y TATUM (1941) «un gen, un enzima» es exacto, al ser el número de caracteres genéticamente determinados más elevado en un Mamífero que en una mosca, se concluirá que, en el primero, una enzima está en el origen no de un solo carácter, sino de varios. Algunas mutaciones que afectan a un solo gen afectarían por lo tanto, de rebote, como quien dice, a varios caracteres (gallinas rizadas, ratones rinoceronte…) pero no se puede afirmar que un gen productor de una única enzima determine directamente varios caracteres.

Las enzimas, las estructuras, las disposiciones orgánicas, los acuerdos temporales entre órganos y funciones, exigen para su existencia una cantidad gigantesca de información. Cada una de las partes que constituyen el órgano más trivial depende de varios genes. Conocer todos los genes o grupos de ellos (cistrones, operones) que intervienen a todos los niveles de organización, es decir, en la ontogénesis, en el funcionamiento y el mantenimiento de las partes, es un problema de gran importancia, pero su solución se encuentra hoy fuera de nuestro alcance.

Tras pasar revista a nuestros escasos conocimientos acerca de la cantidad de genes existentes en las diferentes especies, se puede asegurar que se ignoran los números absolutos de esas unidades determinantes como se ignora si existe una relación de proporcionalidad directa entre el número de caracteres y el de genes. Esta situación pone en peligro la teoría que explica la evolución fundándola sobre las variaciones aleatorias de los genes, reveladas solamente (o casi) por anomalías, por accidentes…

La cantidad de ADN y el rango sistemático

Las investigaciones cuantitativas que conciernen al ADN revelan hechos de gran interés pero de interpretación delicada si no imposible en el estado actual de nuestros conocimientos.

A la combinación numérica de cromosomas para una especie determinada corresponde una constancia ponderal del ADN. Hay que recordar, sin embargo, que en gran cantidad de plantas y

animales el número de cromosomas por célula varía (y a veces mucho) de un órgano a otro. El proceso bien conocido de la endomitosis multiplica el conjunto de cromosomas en el seno de un mismo núcleo que conserva su membrana. Sólo las células sexuales escapan a la variación numérica de los cromosomas **[90]**.

Se ignoran las consecuencias de la multiplicación de estos orgánulos. Las Bacterias, los Esporozoos, diversos vegetales (musgos, helechos…) son haploides durante largos períodos de su ciclo vital, es decir, no contienen más que una macromolécula de ADN (caso de las Bacterias) o un juego sencillo de cromosomas (n) **[91]**. Todos los demás vegetales y animales son diploides: los cromosomas se encuentran presentes en parejas. La duplicidad favorece la variación y hace posible la reproducción sexual; por otra parte, un animal que no posea en sus células los $2n$ cromosomas de la especie no es viable, excepción hecha de casos rarísimos.

Al parecer, ni el número $2n$ de cromosomas, ni el de los brazos de éstos, tiene importancia evolutiva. Basta con consultar un repertorio de dotaciones cromosómicas para darse cuenta de que, a menudo, en un mismo género, las especies cuentan con un número distinto de cromosomas, que no es, además, el número más elevado múltiplo del más bajo **[92]**. Dicho de otra manera, la poliploidía (multiplicación del conjunto de los cromosomas) no es el único mecanismo por el cual las dotaciones cromosómicas varían numéricamente.

Lo esencial es el contenido en ADN de los cromosomas, los genes. Sin embargo, algunos fenómenos, como el efecto de posición, muestran que la topografía de los genes a lo largo del cromosoma seguidas del ensamblaje de los fragmentos a otros cromosomas en posición normal o invertida pueden o no tener consecuencias sobre las propiedades génicas.

Las meticulosas investigaciones realizadas sobre Lepidópteros (LORKOVIC), Reptiles (MATTTHEY, 1970) y Roedores (MATTTHEY, 1969), no han desvelado hechos que se puedan considerar como generalizables y nos instruyen poco acerca del mecanismo de la evolución.

El conocimiento de los genes y su emplazamiento en los cromosomas, de sus entrecruzamientos (*linkage* **(e36)**) y recombinaciones (mapas génicos) tan sólo ha permitido precisar las

diferencias entre los mutantes de *Drosophila* y entre algunas especies de estas moscas, y comprender algunas modalidades de transmisión de caracteres aparentemente aberrantes. No se ha avanzado más tomando como material de estudio el colibacilo (*Escherichia coli*), el hongo *Neurospora crassa*, el maíz, las Oenotheras(e37) (*Oenothera*)… En todos los casos nos resulta imposible salir del dominio estrictamente genético. La localización de los genes en los cromosomas humanos no nos ha enseñado nada hasta ahora, que sea fundamental para nuestro conocimiento de nuestros orígenes.

Sin embargo, se han basado hace poco hipótesis concernientes a la filogenia de los Primates en la presencia de bandas más o menos tingibles por los colorantes histológicos en los cromosomas de especies presumiblemente parientes (hombre y antropoides) (LEJEUNE, 1970; TURLEAU y DE GROUCHY, 1972; DE GROUCHY y col., 1972). Las técnicas se van perfeccionando (no se sabe si el colorante se fija sobre el ADN o sobre las proteínas de los cromosomas) y las observaciones se hacen cada vez sobre un número mayor de especies y sobre un mayor número de cambios cromosómicos; es posible que se pueda extraer de estas experiencias alguna enseñanza de valor. Pero los estudios y extrapolaciones realizados sobre la forma y la capacidad de coloración de los cromosomas no podrían prevalecer contra el registro paleontológico, juez de paz del evolucionismo.

MATTTHEY, eminente especialista en materia de cromosomas, lo ha expuesto muy bien (1969): «… Resulta muy curioso constatar que los grandes cambios en la arquitectura de los cromosomas… son compatibles con una perfecta estabilidad del genotipo. Esas grandes mutaciones no tienen prácticamente ningún efecto». Pero añade muy juiciosamente que éstas contribuyen al aislamiento sexual.

El caso recientemente sacado a la luz de dos especies crípticas de Mamíferos (los gerbos) confundidos bajo el nombre de *Tatarillus gracilis*, resulta ilustrativo. En una misma población, en el mismo lugar, viven en Senegal individuos que tienen, los unos 37 (machos), y 36 (hembras) cromosomas, y los otros 23 (machos) y 22 (hembras). Nada permite distinguir exteriormente los dos tipos, pero la hibridación entre ellos parece dar productos estériles. Tal

hecho confirma que ni el número, ni la disposición de los cromosomas, influyen en los caracteres que determinan los genes, y que sólo la presencia de éstos tiene importancia (salvo en algunos casos de efecto de posición señalados por los genéticos). MATTTHEY y JOTTERAND (1972), que han dado a conocer la disparidad cromosómica de *Tatarillus gracilis*, escriben que la identidad morfológica de las dos formas de gerbos «habla en favor de un aislamiento sexual relativamente reciente, ya que no ha sido seguido aún de mutaciones cromosómicas». Esta conclusión es lógica, pero nada permite asegurar que sea fundada; no existe prueba alguna que demuestre su veracidad.

La presencia de un cromosoma suplementario (polisomía) o la ausencia de uno, tienen, por lo general, efectos nefastos sobre el organismo.

En el hombre, la anomalía conocida bajo el nombre de mongolismo obedece a la presencia de un cromosoma suplementario del par 21 (trisomía 21). La anomalía sexual de KLINEFELTER tiene por causa un cromosoma X de más (
44A + XXY
); la de TURNER, por el contrario, está ligada a la pérdida bien de un cromosoma X o de un cromosoma Y (
44A + X
). Por el contrario, la aberración cromosómica
44A + XYY
viene acompañada habitualmente de desarreglos tan benignos que pasa desapercibida; se ha pretendido, sin embargo, que el Y suplementario provoca un aumento de la agresividad (cromosoma del crimen); las estadísticas hasta ahora realizadas deben interpretarse con toda prudencia.

En suma, las modificaciones del número de cromosomas que no supongan una multiplicación de la totalidad del genoma o poliploidía, tienen casi siempre consecuencias patológicas para el organismo que las padece, y no parecen inscribirse entre los factores primarios de la evolución.

Tal y como ya hemos dicho, la cantidad de ADN del genoma debería ser proporcional al número de genes. Los organismos más complejos, es decir, aquéllos en que la ontogénesis y el funcionamiento exigen un mayor número de genes, deberían ser los

más ricos en ADN. De hecho, no parece que sea así en absoluto. El núcleo de numerosos Protozoos y Protofitas, así como el de los Metazoos inferiores, encierra tanto o más ADN como el núcleo de las Aves o los Mamíferos.

Los Tunicados contienen
0,3 pg
[93] de ADN por núcleo, los Agnatos (Ciclóstomos),
5,00
; los Peces Condrósteos, 5,
5-6,
7; los Actinopterigios,
0,9
a
6,1
; los Dipnoos (*Protopterus, Lepidosiren*),
100 pg.

Los Anfibios Urodelos tienen también un contenido alto en ADN: *Ambystoma tigrinum* (Axolotl**(e38)**) y *A. laterale* contienen de 102 a
105 pg
de ADN por núcleo (Mc Gregor y Uzzel, 1961). *Amphiuma*, que por sí solo constituye una familia, parece ostentar el récord de peso en ADN con
168 pg
por núcleo; por el contrario, en dos Pletodóntidos, el contenido en ADN baja a
20 pg
por núcleo.

Los Reptiles actuales tienen un contenido en ADN por núcleo que oscila entre los
2,8
y los
5,3
pg; en los Cocodrilos (*Alligator*) es de
5 pg
por núcleo.

Las Aves presentan cantidades variables según las especies, de

1,7
a
2,9
pg por núcleo.

Los Mamíferos Metaterios (Marsupiales) tienen de
8,8
a
9,9
pg por núcleo (*Perameles*), mientras que los mamíferos euterios tienen de 5 a
7,1
.

De estas cifras brutas no se puede sacar conclusión alguna en cuanto al origen o las afinidades zoológicas entre las diferentes clases. Pero se plantean dos cuestiones:

1.º ¿Cómo es posible que la complejidad anatómica y fisiológica no vaya obligatoriamente acompañada de un aumento del contenido en ADN del núcleo?

2.º ¿Por qué las formas arcaicas tienen más ADN que las evolucionadas?

En algunos casos, la polipliodía o la polisomía son las responsables del incremento del ADN nuclear. Esto es prácticamente seguro en el caso de numerosas variedades de plantas cultivadas (manzano, tabaco, iris…) y algunos animales. En el caso de los Anfibios con un tanto por ciento de ADN muy elevado, el estudio del cariotipo no revela poliploidía.

Se sabe desde hace poco que la cantidad de ADN aumenta por la repetición de ciertos genes (*redundancia génica*), que ha sido descubierta a lo largo del análisis del genoma del ratón por la técnica llamada de hibridación de los ADN (WARING y BRITTEN, 1966). SCHILDKRAUT y sus colaboradores (1961) habían demostrado que las fibras de ADN purificadas y separadas «se reconocían» entre ellas y volvían a asociarse en función, parece, de su constitución génica; el fenómeno se produce muy bien en gel de
agar-agar
(BOLTON y MAC CARTHY, 1962). La hibridación entre el ADN de diversas Bacterias y el ADN de diferentes Mamíferos se ha obtenido ya y la asociación es tan rápida en los segundos como en los

primeros, aunque el número de bases que entran en juego en la composición de los polinucleótidos sea, al parecer, mucho más elevado en los Mamíferos que en las Bacterias.

En el genoma de diversas especies se ha observado que existe una relación entre la repetición de ciertas secuencias de nucleótidos y la velocidad de asociación de los ADN. La fórmula *Cot*, propuesta por BRITTEN y KOHNE (1968) en la que *Co* expresa la concentración inicial en moles por litro de los nucleótidos de ADN y *t* el tiempo en segundos para que se efectúe la asociación, permite evaluar la redundancia de un genoma o una de sus fracciones. La redundancia está muy extendida entre los Eucariotas, de los Protozoos al hombre; las partes afectadas del genoma representan en los Urodelos ambistómidos del 20 al 80 por 100 del ADN cromosómico, lo que en el caso del axolotl, reduce a poco más de

20 pg

el ADN de genes no iterativos, cifra todavía muy elevada. En los Mamíferos, la tasa media de la redundancia es del orden del 30 al 40 por ciento del ADN.

Se distinguen dos tipos de segmentos redundantes: uno representa alrededor del 10 por 100 del ADN total y consiste en secuencias, compuestas aproximadamente de trescientos nucleótidos que se repiten alrededor de un millón de veces; la heterocromatina que forma los satélites de algunos cromosomas (por ejemplo los del ratón, la cobaya, la ratilla**(e39)** agreste [*Microtus agrestis*], el hombre) presenta este alto grado de redundancia; la otra, alrededor del 20 por 100 del ADN total, consiste en «familias» de secuencias diferentes que se repiten de 100 a

100 000

veces.

Son los segmentos homólogos los que se reasocian.

¿Qué papel asume la redundancia génica? Lo ignoramos, pero dos americanos, BRITTEN y DAVIDSON (1969), han imaginado para explicarlo un modelo complejo que interviene a lo largo de la diferenciación celular en tanto que regulador de la producción de los ARN útiles según los estadios de desarrollo y la localización de las células. Esta teoría no interesa directamente a nuestro tema, que es el mecanismo evolutivo y no la actividad normal de los genes en

el organismo pluricelular [94]. Por otra parte, no puede aplicarse a los unicelulares, en los que la redundancia parece existir en varios órdenes.

Los genes no repetidos (un solo ejemplar por cromosoma) son aparentemente los más numerosos, y la regulación génica no parece ser superior en la rana (*Rana*) cuyo genoma contiene muy poco ADN redundante, al contrario que el axolotl que lo tiene en abundancia. Según esto, ¿no será fruto de la imaginación el papel regulador atribuido al ADN redundante?

Un gen repetido un millón de veces debería tener un millón más de probabilidades de mutar que el gen único. Las observaciones hechas hasta ahora no parecen confirmar esta opinión «lógica [95]». Recordemos que los segmentos heterocromáticos de los cromosomas que contienen genes redundantes, estaban considerados, hasta hace poco, como genéticamente mudos o casi.

Algunos cito-bioquímicos han planteado la hipótesis de que en el ADN redundante las familias de nucleótidos no idénticas son las más antiguas; habrían acumulado a lo largo del tiempo mutaciones que conciernen a la ordenación de las bases. Su diferenciación tendría como punto de partida las mutaciones.

Después de haber examinado los hechos conocidos, poco numerosos y no siempre confirmados con certeza, parece temerario atribuir un papel preciso al ADN redundante. Es muy posible que en todo este asunto, el factor cualitativo tenga más importancia que el cuantitativo.

Cuando WATSON asegura que el 85 por 100 del ADN que contiene la dotación cromosómica de una especie es inactivo, se deja llevar por una suposición muy temeraria. Nadie puede envanecerse de conocer todas las propiedades y funciones de este ácido nucleico. WATSON no ignora, sin duda, que la presencia de dos n cromosomas en todas las células es una condición vital para la casi totalidad de los animales y las plantas superiores. La endomitosis tan extendida en los dos reinos, eleva a veces a un nivel muy alto el número de cromosomas. Yo mismo he observado que las células excretoras de los tubos de Malpighi de los Acrídidos y de los grillos aumentan su dotación cromosómica del ápice a la base del tubo. El grado de poliploidía parece variar según el estado funcional de la célula.

Es posible que cierta masa de ADN cromosómico no constituya ni genes ni cistrones, pero ningún biólogo, en el estado actual de la biología molecular, puede afirmar que ésta no asuma ninguna función en la vida celular (ver COMMONER, 1968).

La noción de operón

Entre los nuevos conceptos de la biología molecular, hay uno que constituye materia de reflexión. Al gen aislado, agente de la génesis de un carácter, subunidad en el seno del individuo, le sustituye un conjunto de genes (a veces llamado ***cistrón***) que actúan concertadamente y que forman una unidad funcional.

De esos conjuntos, el ***operón*** sería el más complejo (F. JACOB y J. MONOD, 1961; J. MONOD y F. JACOB, 1961). Corresponde a un segmento de la macromolécula de ADN, compuesto de varios genes coordinados en sus acciones y efectos.

Este complejo ha sido imaginado después de los estudios hechos sobre la producción de enzimas por las Bacterias de los géneros *Escherichia* y *Salmonella*. *Escherichia coli* metaboliza los β-galactósidos con tres enzimas: la β-galactosidopermeasa, la β-galactosidasa y la β-galactosidotransacetilasa. Los dos primeros se sintetizan en cantidades equimoleculares. El tercero según una relación menos simple. Dicho de otra manera, las síntesis de estas enzimas están coordinadas. Un operón se compondría de varios genes adyacentes y funcionales (genes de estructura), de uno o varios operadores y de un represor. El operador actúa sobre el represor (directa o indirectamente) y de esta forma regula la cualidad de las enzimas producidas (3 enzimas en el caso de los β-galactósidos). La β-galactosidasa cataliza la hidrólisis de la lactosa en glucosa y galactosa.

La que nos interesa en el operón es la relación necesaria que existe entre los genes de estructura y los que los controlan. Es poco probable que todo gen de estructura esté integrado en un operón, pero se puede pensar que en un gran número de casos es así.

El operón que asocia un sistema productor y un sistema regulador expresa un orden.

Una mutación no puede crearlo, pues no posee (tal como nosotros la conocemos) poder para constituirlo. La mutación introduce un desorden en la ordenación de las bases (adenina, guanina, timina, citosina), única parte de la molécula de ADN para la cual el desorden no es *ipso facto*, destructor y sobre la que el azar ejerce su ministerio. Para la génesis del operón es preciso recurrir a un antiazar organizador. Sin duda, en el espíritu de los darwinistas, sólo puede tratarse de la selección natural… Y sin embargo, en este caso no sólo hay que seleccionar, sobre todo hay que organizar, articular entre sí genes especialmente próximos y coordinar sus acciones. ¿Tenían los genes, antes de formar una unidad coherente y operante, algún papel en la vida de la célula? Por todos lados navegamos sobre hipótesis, o más exactamente zozobramos.

No parece que tengamos una idea clara de lo que es una mutación en el seno del operón: ¿altera directamente los genes de estructura o concierne solamente a los otros componentes? Nada, teóricamente, se opone a que interese a los unos y a los otros.

No puede afirmarse que la mutación de un gen incluido en un operón sea equivalente a un gen aislado, puesto que en ese operón las acciones represivas o de otro tipo se ejercen sobre el gen mutado, el cual depende también de los genes de estructura adyacentes. Esto no es totalmente imaginario puesto que se ha constatado que las mutaciones, sobre todo las deficiencias que interesan a genes contiguos al operador, dejan inactivo todo el operón. La restitución de la parte afectada vuelve a dar al operón la actividad anterior a la mutación (JACOB y MONOD, 1961).

La variación de un gen independiente cae directamente, y de golpe, bajo la férula de la selección natural, mientras que la mutación de un gen que pertenece a un operón debe, antes de nada, ser «aceptada», «tolerada» por el mismo operón. Éste es un punto importante que los darwinistas no deberían dejar de explicar.

La edad de los genes y el pasado del ser vivo

Todo Vertebrado, por ejemplo, posee algún gen procedente de sus más antiguos antepasados. Es posible que los fenómenos bioquímicos fundamentales comunes a todos los seres vivos sean debidos a los mismos genes (arqueogenes) procedentes de los mismos antepasados, que de tal suerte, continúan viviendo en sus descendientes. Esta interpretación ha recibido el apoyo de las observaciones que los bioquímicos han hecho sobre los fermentos respiratorios (citocromos), las enzimas y otros materiales implicados en el ciclo del ácido cítrico (o ciclo de KREBS), las hemoglobinas y otras diversas proteínas.

La constancia en las funciones que aseguran los arqueogenes, tanto en la bacteria como en el hombre, atestiguan que ha cambiado poco a lo largo del tiempo.

Las investigaciones sobre la embriogénesis han mostrado la intervención de tales genes y han permitido apreciar en cierta medida las afinidades filogenéticas. Por ejemplo, se acaba de demostrar, utilizando la técnica de los cultivos organotípicos, que el mesénquima embrionario (hígado y pulmón) del embrión de Ave es capaz de inducir la diferenciación del hígado cuando se injerta sobre un embrión de Roedor. Los genes implicados en esta operación son probablemente idénticos o próximos; existían obligatoriamente en los Reptiles ancestrales que han dado, por vías diferentes, la rama mamífera y aviaria.

Sin embargo, en algunas líneas, los arqueogenes han variado o han sido reemplazados; así los genes mitocondriales de los organismos anaerobios no son los mismos que los de los aerobios. La mitocondrias no tienen la misma estructura y no llevan las mismas enzimas que en las especies aerobias. En las de los Flagelados simbiontes de las termitas, anaerobios estrictos, no se ve ni pared ni túbulo; la membrana de envoltura es simple, una macromolécula de ADN fácil de descubrir.

Todo animal, todo vegetal, posee los genes de su tipo, de su clase, de su orden, de su género, de su especie. Se materializa gracias a ellos. A lo largo de la embriogénesis los primeros caracteres que aparecen son los más generales, los del filum, y en último lugar los más particulares, los de la especie. Este orden repite de manera acelerada el de la adquisición de genes, durante la

evolución del animal.

Las investigaciones emprendidas, no sobre los arqueogenes mismos, sino sobre las proteínas que ellos codifican y determinan, no han suministrado las informaciones filogenéticas que se esperaban. Éste ha sido el caso de las «paleoproteínas» que son los citocromos. El citocromo C del hombre se distingue del del caballo por 14 aminoácidos y del del canguro (*Macropus*) sólo por ocho. Hechos del mismo orden se advierten en el caso de la hemoglobina; la cadena β de esta proteína en el hombre difiere de la de los lémures en 20 aminoácidos y sólo en 14 de la del cerdo y en uno sólo de la de los gorilas. Nos encontramos aproximadamente en la misma situación con otras proteínas.

No carecen de interés algunos análisis químicos de genotipos (ADN) de Primates realizados recientemente por KOHNE (1970). Pero los resultados obtenidos son de difícil interpretación. El número de nucleóticos es tan diferente de un género a otro que no se perciben las afinidades intergenéticas.

Los genes ancestrales aletargados

Hechos excepcionales, si no anormales, hacen suponer que algunos genes, que se manifestaban fenotípicamente en los antepasados persisten en el genotipo de las especies actuales, pero sin inducir ya a la formación de órganos o partes de órganos, ni dirigir ninguna función [96].

Así ocurre con diversas polidactilias de los Équidos que se manifiestan con grados de expresividad muy variados. A veces aparece sólo la uña o una pieza córnea del dedo suplementario. Más raramente, los dedos II y IV se desarrollan con todas sus falanges, terminando en una pequeña pezuña, pero, más cortos que el dedo III, no alcanzan el suelo: la pata tridáctila imita entonces a la del *Hipparion*. Se supone que los genes que determinan los dedos suplementarios habrían quedado en estado latente en el antepasado [97] y por un mecanismo que desconocemos han recobrado su actividad.

Los genes que determinan los metacarpianos y metatarsianos II y IV no han desaparecido, puesto que estos huesos persisten en estado de estiletes no funcionales. Las falanges, por el contrario, no han dejado ninguna traza, ni siquiera en el embrión, donde he buscado

en vano sus esbozos cartilaginosos o mucosos.

La mutación gracias a la cual los dedos II y IV reaparecerían, sería debida quizás (en este asunto toda interpretación es una hipótesis, no lo olvidemos) a la alteración de un único gen que levantaría la inhibición que pesa sobre los genes (deben ser numerosos) que determinan el desarrollo de los dedos. Pero es verdaderamente fácil recurrir a la ayuda de un diablillo familiar filantrópico, es decir… un gen.

Los genéticos han recurrido frecuentemente a tales auxiliares. En las Bacterias y drosófilas, singularmente, han observado mutaciones que vuelven al tipo «premutación» y las han llamado *inversas*. Suponen que esas mutaciones inhiben los genes supresores que están situados en el mismo cistrón y así los genes que determinan los caracteres pueden actuar. Es posible también que, por una causa que desconocemos, los genes siempre presentes que presiden la organogénesis de los dedos II y IV, viesen su expresividad bruscamente elevada.

El estado monodáctilo del género *Equus* se debería probablemente, al menos en parte, no a la desaparición de los genes que controlan el desarrollo de los dedos II y IV, sino a su inhibición más o menos total…

Cuando los hechos no imponen su ley, reina la hipótesis; pero es una débil soberanía.

Otro caso teratológico hace presentir también la persistencia en estado latente de genes ancestrales.

A veces han sido encontradas drosófilas de cuatro alas en cultivos experimentales. Los balancines, que son las alas posteriores profundamente modificadas, vuelven a convertirse en alas, aunque ciertamente con imperfecciones. Pero el balancín no es tan sólo un ala atrofiada reducida a una o dos nerviaciones; es un órgano sensorial complejo que juega un papel importante en el equilibrio y la regulación de los esfuerzos musculares. Contiene numerosos y diversos receptores sensoriales. Aparentemente, su formación exige, por su estructura, la intervención de varios genes; probablemente es resultado de una larga evolución.

El problema principal que plantean las drosófilas tetrápteras es saber qué genes determinan la formación de las alas posteriores. *Los genes del ala normal no son los del balancín*, cuyos órganos

sensoriales difieren de los del ala por su estructura y sus funciones. Se puede imaginar que los genes que dirigen la formación del balancín son, los unos determinantes del ala normal con expresividades modificadas y los otros *genes nuevos* que controlan la génesis de los órganos sensoriales propios del balancín.

Puede ser, también en este caso, que el estado tetráptero se restablezca gracias a la mutación de un solo gen que reactive los genes del ala e inhiba los del balancín. Ésta es una manera lógica de interpretar los hechos, pero que no tiene una base sólida (Invitamos al lector a trasladarse al capítulo IX de esta obra donde se trata del gen y su modo de acción).

La dificultad crece considerablemente cuando se sabe que se han obtenido en algunos cultivos, drosófilas de cuatro balancines. Su estudio, que sepamos, no se ha emprendido siquiera.

El genotipo de estas monstruosidades contiene probablemente genes ancestrales (quizás no sea el caso de las alas anteriores transformadas en balancines), en estado latente. Las partes de una misma macromolécula de ADN, sin duda debido a su heterogeneidad, ejercen una influencia las unas sobre las otras para la interpretación de las enzimas, cuyas génesis dirigen. A menos que el citoplasma que constituye el medio ambiente influya en la expresividad, en la penetración de los genes hasta el punto en algunos casos de inhibir toda acción de éstos.

Los hechos expuestos más arriba dejan claro que la hibridación de ADN intra o extraespecífica no es suficiente para explorar el contenido génico de la especie. A veces se producen apariciones de órganos monstruosos que revelan genes que, desde hace millones de siglos, permanecían ocultos e inactivos en el patrimonio hereditario no sólo de la especie, sino de la línea.

La ley del paleontólogo DOLLO, según la cual la evolución regresiva es irreversible ¿no ha sido desmentida por los hechos? Sí, si es cierto que los genes ancestrales persisten y han sido puestos en reposo por un sistema génico represor y si el levantamiento de la inhibición restablece los susodichos genes en su estado anterior. Pero el paleontólogo no observa nunca la reaparición de órganos desaparecidos a lo largo de la evolución; tienen por tanto derecho a pensar que la reactivación de genes ancestrales es un fenómeno

excepcional, teratológico y sin efecto, en la evolución de los seres organizados.

GIARD, ya en 1897, lanzaba la idea de que la regeneración puede revelar algunos resortes de la morfogénesis. Su intuición era justa. Ese fenómeno, que nos muestra la ontogénesis o la organogénesis fuera de las normas, nos instruye, si lo analizamos en profundidad, sobre los genes que pone en juego, especialmente en la restitución de la forma.

Aquí consideraremos el caso muy particular de la heteromorfosis, que es la facultad de regenerar una parte diferente de la que falta. La regenerada produce otro órgano. Esto fue descubierto por J. LOEB (1891) que vio un fragmento de tabularía (*Tubularia mesembryanthemum*) (Cnidario hidrario) regenerar una cabeza en sus dos extremidades. Han sido observados numerosos hechos del mismo género: formación de una cabeza en lugar de una cola en una lombriz de tierra (HAZEN) formación de una antena en el lugar de un ojo compuesto, después de amputar el pedúnculo ocular en el cangrejo de río (HERBST, 1896). El Decápodo regenera un pedúnculo ocular o una antena, según que la sección deje o no en su lugar el ganglio óptico.

Otro ejemplo clásico es el de los Fásmidos (*Carausius morosus*) estudiado por SCHMIDT JENSEN (1913), CUÉNOT (1921), BORCHARDT (1927): una antena amputada es reemplazada por una pata de tipo ambulatorio. Para que la heteromorfosis se produzca, la sección de amputación debe pasar a través de uno de los dos basilares (I y II) de la antena o entre ellos (BORCHARDT, 1927). Si el órgano de Johnston (situado normalmente en el segundo artejo antenal) se conserva totalmente o en parte, lo regenerado es una antena; en ausencia del órgano de Johnston, una pata. El miembro heteromorfo es indiscutiblemente del tipo ambulatorio, con fémur, tibia y tarso triarticulado (CUÉNOT, 1921). No es funcional si es de un tamaño menor que una pata normal.

La cabeza del Insecto se compone de seis segmentos, tres preorales, tres postorales, íntimamente fusionados, y de una pequeña región anterior de origen no segmentario que procede del acron embrionario; el conjunto forma una unidad anatómica perfectamente definida. Cada segmento, salvo el primero y el tercero, lleva su par de apéndices, teniendo cada uno su propia

originalidad; antenas (segmento II), mandíbulas (segmento IV), maxilas (V) y labro (VI), formado por dos apéndices soldados por su borde interno. Los segmentos torácicos llevan las patas ambulatorias; los abdominales han perdido sus apéndices o sólo conservan vestigios.

Las antenas y las patas ambulatorias existen ya en los Insectos más antiguos (*Rhyniella* del Devónico medio). Desde este lejano período, las patas y las antenas están determinadas por genes diferentes, porque estos apéndices no poseen ni los mismos receptores sensoriales, ni la misma musculatura, ni la misma inervación.

En un caso igual, la regeneración no despierta a ningún gen ancestral dormido, pero estimula en un lugar inhabitual (el del órgano perdido), los genes de otro órgano que en el curso de la ontogénesis normal se edifica en otro punto del embrión. Con la heteromorfosis, el organismo comete un error, no recurre a los obreros especializados del cuerpo, aptos para reparar el órgano perdido, sino a otros que construyen lo que «saben» hacer y no el órgano perdido.

Entonces, como no tenemos ninguna seguridad de que la antena haya sido precedida por un apéndice ambulatorio **[98]** y el ojo compuesto por una antena, nos preguntamos si tenemos derecho a hablar de genes ancestrales liberados por el levantamiento de una inhibición. La situación se presenta de diferente manera a como lo hacía en el caso del dedo atávico de los Équidos. ¿Qué genes, en los Fásmidos, inducen la formación de una pata en lugar de una antena, y en el cangrejo de río de una antena en lugar de un ojo compuesto? Lo ignoramos.

Es posible que las células sensoriales, o las de sostén del órgano de Johnston actúen sobre las células inmediatas a modo de un organizador inductor. Lo que viene a decir que las células que sirven de material apendicular, en ausencia de una inducción particular, tienden a realizar una pata ambulatoria. Los genes responsables de esta organogénesis son los únicos que se estimulan por la amputación del apéndice cuando el órgano de Johnston falta.

C. DAWYDOFF (1942) estudió en una memoria que ha quedado olvidada de los biólogos, el detalle de la reconstitución de la región cefálica en un Nemertino, el *Lineus lacteus*, que vive en el Mar

Negro, en las cosas de Crimea. Un *fragmento prebucal* de este gusano regenera el animal completo, si contiene el cerebro entero y los órganos cerebrales que le acompañan; para ello la sección practicada con cuchilla debe pasar inmediatamente detrás de los órganos cerebrales. Después de la cicatrización por acercamiento de los bordes de la herida, epidermización y formación de un nuevo tegumento ciliado por migración y extensión de las células procedentes de los labios de la herida, todas las células de la región lesionada y de zonas bastante alejadas se diferencian**(e40)**, es decir, pierden sus atributos propios, toman el aspecto de células embrionarias con prolongaciones citoplásmicas y forman una masa incoherente. Cada órgano se regenera a partir de lo que queda en el fragmento prebucal. Si hay un poco de esófago presente, con las células desdiferenciadas que proceden de él se constituye una vesícula, gracias a la cual se formarán las diversas partes del nuevo tubo digestivo.

Si no existe nada del esófago en el fragmento prebucal, la regeneración del tubo digestivo se efectúa a expensas del mesénquima. Al cabo de seis o siete días se observa en el susodicho fragmento una vesícula cuya pared celular es, inicialmente, monoestratificada.

Lo extraordinario de esta regeneración reside en la variedad de procesos celulares que la realizan. DAWYDOFF ha enumerado ocho para la reconstitución del tubo digestivo; en efecto, la vesícula que es su esbozo proviene:

Cualquiera que sea el proceso utilizado, se alcanza el mismo *resultado*, a saber, un tubo digestivo con sus diversas partes.

Sin entrar en el detalle de la restitución, es manifiesto que las células que edifican el nuevo tubo digestivo pertenecen, con toda certeza, al mesodermo. Las ocho formas regeneradoras (cada una con sus variantes) hacen referencia a genes distintos, es decir, teóricamente, a enzimas, a cadenas de reacciones químicas que difieren de una forma o de otra.

Imponiendo regeneraciones sucesivas a un mismo individuo, se constata que las restituciones consiguientes se operan según modos diferentes.

C. DAWYDOFF fue un gran embriólogo y un excelente observador a quien nunca se ha cogido en falta, pero después de haber descrito

las variaciones de la regeneración, se refiere a interpretaciones y concepciones de DRIESCH (1909), de GURWITSCH (1914-15), de LUBISCHEV (1925), y atribuye la adaptabilidad a las circunstancias y la variedad de los procesos constructores a factores no materiales. No le seguimos por ese camino contaminado de un vitalismo poco recomendable.

Destacaremos que sólo los *Lineus lacteus* de Crimea, presentan una gran variedad en las formas de restitución del tubo digestivo. Los que proceden de otros lados no la poseen. Se trata probablemente, de una propiedad ligada a la presencia de uno o varios genes particulares.

La restitución heterogenética recurre a genes que a lo largo de la ontogénesis normal no intervienen. La experiencia reveladora de esta singularidad no se produce nunca en las condiciones naturales; la selección no se ejerce ni a favor ni en contra de ella.

Este hecho, cuya materialidad no es contestable, se explica mal en función de los datos de la genética actual. No tenemos la seguridad de que nuestro actual concepto de gen se aplique a estos modos de regeneración, ni a los que hemos descrito en las páginas precedentes. La existencia normal de genes inoperantes o «adaptativos» está por sugerir.

La información que contiene una célula sobrepasa, parece ser, la que expresan los fenotipos. No se manifiesta más que en circunstancias excepcionales: regeneración, atavismos, regulación embrionaria… La exploración de los genomas y el inventario de su contenido informático están muy lejos de su conclusión **[99]**.

Las potencialidades génicas sobrepasan, seguramente, las que la biología molecular asigna a un genotipo dado. Los genes tienen un papel determinante, pero las órdenes que lanzan por intermedio del ARN mensajero, no producen siempre los mismos efectos, ya que los materiales de que dispone la célula no son de una constancia perfecta.

La génesis de especies nuevas por recombinación génica

Se han obtenido especies nuevas trastornando su dotación cromosómica por hibridación o por tratamientos que rompen los cromosomas. La mayoría de estas novedades pertenecen al reino

vegetal; proceden de híbridos de especies o géneros diferentes. Recordemos el ejemplo clásico de col-rábano creado por KARPECHENKO (1928). El híbrido de esas dos Crucíferas es vigoroso; tiene las hojas grandes y glabras de la col pero es estéril. Posee 18 cromosomas, 9 de la col y 9 del rábano que como no son estrictamente homólogos no se aparean en el momento de la meiosis y por tanto la producción de células reproductoras normales no es posible. Pero entre estos híbridos, KARPECHENKO encontró algunos pies fértiles que dieron semillas de 4*n* cromosomas, siendo así el origen de una unidad sistemática que no se reproduce con *ninguna* otra y que constituye una nueva especie.

La duplicación del número de cromosomas (llamada aloploidía en el caso de los híbridos) se produce accidentalmente antes de la meiosis en el ovario y las células madres del polen, o más bien en el punto vegetativo de una yema.

La alopoliploidía ha sido obtenida después de la hibridación entre especies de tabacos, digitales, *Crepis*, ciruelos… Algunas especies naturales (*Galeopsis tetrahit*, una Labiada; *Spartium townsendi*, una Gramínea; *Iris versicolor; Rosa wilsonii; Aesculus carnea*, un castaño de Indias…) son aloploides espontáneos.

En los animales, las razas tetraploides o, más generalmente, poliploides, parecen proceder de un accidente de la meiosis, o de una fusión de núcleos al comienzo de la embriogénesis. No se conocen hasta ahora especies auténticamente alopoliploides.

Sometiendo las células germinales de *Crepis tectorum* a una fuerte irradiación de rayos X, los cromosomas se rompen, después sus fragmentos se sueldan los unos a los otros sin reconocerse. Eligiendo los progenitores a partir de sus guarniciones**(e41)** cromosómicas, GERASSIMOVA ha creado una nueva especie, *Crepis nova*, que tiene exteriormente la apariencia de *Crepis tectorum*, con quien no puede hibridarse; los cromosomas de los dos padres, debido a su disparidad génica no se aparean.

Drosophila paulistarum es una mosca tropical que habita desde Guatemala a Brasil meridional. Se compone de seis subespecies que están separadas por barreras etológicas. Cuando se consigue emparejarlas se constata que las hembras híbridas son fértiles, pero no así los machos híbridos. Citemos que esas subespecies son

fenotípicamente indiscernibles; se las separa por diferencias cromosómicas y etológicas.

Una línea de origen colombiano ha dado, con otra subespecie, híbridos machos y hembras fecundos. DOBZHANSKY y PAVLOSKY (1971) han operado en ella una selección que afecta al comportamiento sexual y que ha desembocado en la formación de una línea cuyos miembros sólo se aparean entre sí. Esta línea tiene el valor de una especie naciente, aunque siga siendo *idéntica* a *Drosophila paulistarum*.

Las especies nuevas que acabamos de estudiar son el producto de la combinación de caracteres preexistentes y no de una creación. Estas especies no interesan a la evolución creadora. Muestran que bajo ciertas condiciones (compatibilidad entre cromosomas y citoplasma de los progenitores de especies diferentes), la hibridación, seguida de una selección guiada por el hombre, posibilita la aparición de nuevas combinaciones de genes, que corresponden a unidades sistemáticas de un orden inferior (subespecie y especie).

Los mecanismos que acabamos de describir no intervienen en la evolución creadora. Las líneas evolutivas permanecen puras a lo largo de toda su historia. La paleontología no proporciona ejemplos de hibridaciones entre unos fila y otros.

9. Nueva interpretación de los fenómenos evolutivos

> «Las ciencias biológicas, como la morfina, nos embriagan antes de decepcionarnos. Nos atrapan mediante la ilusión rápida, efímera, pero exquisita, de que comprendemos lo que observamos.
>
> Pero la comprensión está tan alejada de la observación como la Vía Láctea de la Tierra. Entre la comprensión y la observación está el dominio de la conjetura».
>
> LÉON DAUDET, *Escritores y artistas*, t. VII, p. 56, 1928

Introducción

A pesar de sus éxitos entre algunos biólogos, filósofos y sociólogos, las doctrinas que explican la evolución biológica no resisten una crítica objetiva en profundidad. Se muestran, o bien en desacuerdo con las realidades, o incapaces de resolver los grandes problemas.

Nadie puede asegurar que la evolución consista en la adquisición de caracteres debidos a la utilización o la influencia directa del medio. Nadie puede probar que las mutaciones que sufren las plantas y los animales vivientes en todo tiempo y lugar, tengan la misma naturaleza aleatoria que las que sufren los fila, clases, órdenes o familias. Nadie puede afirmar que los planes de organización sean obra de la selección natural.

Si se tomaran exclusivamente en consideración, y en nombre de la lógica, las especies pancrónicas (que además son muy numerosas) que desde hace decenas, o incluso centenares de millones de años, mutan sin cambiar notablemente, llegaríamos a negar todo valor evolutivo a las mutaciones, tal como las observamos en la flora y

fauna actuales.

Al término de un estudio imparcial que hemos realizado a lo largo de varios años, hemos debido concluir:

La mente, libre de ideas teóricas, vengan de donde vengan, reconsidera el fenómeno evolutivo y la objetividad le obliga a distanciarse de las doctrinas y particularmente del darwinismo bajo todas sus formas.

Hemos probado que la evolución no es:

Por otra parte puede considerarse como seguro que:

Es *falso* pretender que la evolución, guiada por la selección natural sea siempre favorable a la especie o a la línea. Deja tras de sí un inmenso cementerio poblado de errores y fracasos.

El «mejor adaptado» no suprime al «menos bien adaptado» más de lo que el superior elimina al inferior.

Las especies pancrónicas, variables al igual que las especies recientes, demuestran que la evolución y la mutagénesis son dos fenómenos no ligados el uno al otro. El segundo es continuo, el primero no lo es.

En esta obra hemos demostrado, ayudados por numerosos hechos, que es lo que les falta a las mutaciones para ser las variaciones evolutivas de las que han nacido los fila, clases, órdenes… No vamos a repetirlo.

Para crear, la evolución exige materiales nuevos, que son los genes formados *de novo* u ordenaciones inéditas de codones por sobreimpresión.

No son en absoluto los mismos genes los que de una clase a otra de Vertebrados incitan al ectoblasto tegumentario y a su doblez mesenquimatoso a formar escamas ganoideas, placoideas y cicloideas en los Peces, escamas epidermo-óseas en los Reptiles, plumas en las Aves, pelos en los Mamíferos. Cada novedad exige sus genes que, a su vez, son también nuevos.

La crítica de las doctrinas, a pesar de su valor y utilidad, no basta al biólogo consciente de su papel: hace falta construir y esto es posible si se desprende de las ideas recibidas y considera los fenómenos evolutivos bajo nuevos ángulos, teniendo en cuenta las recientes adquisiciones de la paleontología y de la biología molecular.

Los factores internos de la evolución y la reactividad creadora del ser vivo

Sólo la paleontología puede desvelar el devenir real de la evolución. Los pioneros de esta ciencia, con COPE a la cabeza, fueron ardientes lamarckistas; pero hoy se da uno cuenta de que el medio no tiene la capacidad de acción directa que se le atribuía. Sin embargo, el ser vivo no es objeto pasivo; reacciona y se forma en función de la información que recibe, que trata y que contiene.

Es considerando en su conjunto la evolución de una gran unidad sistemática (clase, orden, superfamilia) como se hacen perceptibles algunos fenómenos, y se nos imponen. La génesis de los Mamíferos es, en este sentido, muy instructiva.

Cuando se comparan las diferentes líneas de Teriodontos, se percibe que *todas* han adquirido características de mamífero, que no siempre son las mismas, y esto ha ocurrido en momentos diferentes.

Estos caracteres han sido asimilados, erróneamente, a una *evolución convergente o ecológica*, que se produce cuando animales pertenecientes a grupos muy alejados —y que no son parientes— viven en el mismo medio y llevan modos de vida análogos, incluso idénticos, adquiriendo órganos similares, y apariencia parecida: la transparencia de los animales pelágicos, la aleta dorsal de los Peces, Cetáceos e Ictiosaurios, la línea de espinas (ctenidios) de Insectos que viven parásitos en la piel de los Mamíferos (pulgas, Nicteribios, Forfículas**(e42)**, Malófagos, moscas pupíparas, Coleópteros…) son ejemplos clásicos.

La aparición de caracteres de mamífero en las diversas líneas de Teriodontos que participan en la misma tendencia evolutiva no es en absoluto la repetición de mutaciones que se observa a veces en las poblaciones naturales. Por ejemplo, el macropterismo que marca, con una tasa variable, a la mayor parte de las especies de *Metrioptera* (Insectos Ortópteros Tetigonoideos), los colores violáceos y rojizos frecuentemente observados en poblaciones de saltamontes, *Stenobothrus* y géneros próximos, son mutaciones que modifican genes previamente existentes en el genotipo de los diferentes géneros y que no se mantienen ni se integran en una tendencia evolutiva, lo que por otra parte, es el caso de todas las

mutaciones.

El fenómeno que nos interesa es otro. Las líneas de Teriodontos que han salido de un mismo tronco ancestral, poseen tres tipos de caracteres: los que son comunes a todos, los que son propios a cada una de ellas, y por fin, los caracteres de mamífero, desigualmente repartidos (*ver* fig. 3).

Por ejemplo, un carácter de mamífero A existe en tres de ellos y falta en otros dos. Los Tritilodontos y los Ictidosaurios son las dos sublíneas más ricas en caracteres de mamífero, pero las otras familias de Teriodontos, Gorgonopsios, Terocéfalos-Bauriamorfos, Cinodontos, no están nunca completamente desprovistas de ellos. Los Cinodontos, incluso parecen ser la línea privilegiada de donde han podido nacer los primeros Mamíferos.

La hominización que se opera a través de las cuatro líneas de primates (Társidos, Lemuroideos, Simioideos y Homínidos) sigue las mismas reglas que la «mamalización» en los Teriodontos. La realización de las formas elefantiásica**(e43)** y caballar responden al mismo proceso; se podría decir lo mismo de muchos otros grupos zoológicos si no de todos.

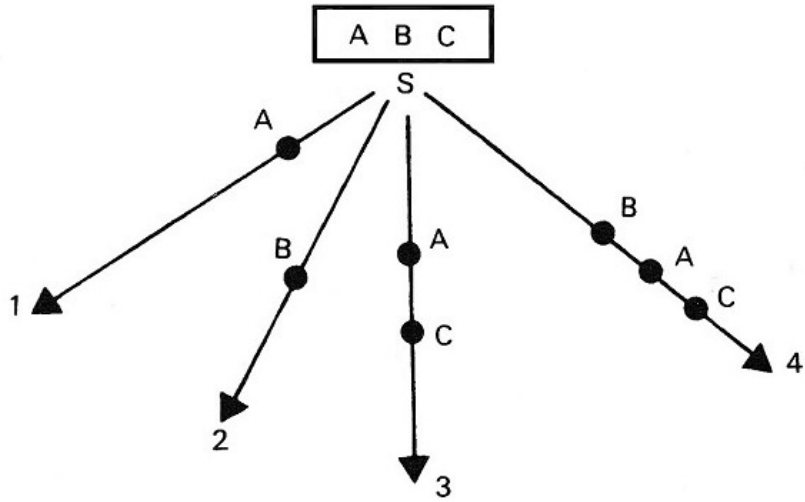
Es probable que, al principio, las líneas (cuyas evoluciones no son sincrónicas) que forman una familia sistemática de rango elevado (clase, orden, superfamilia), dispongan aproximadamente del mismo genoma. Según la doctrina neodarwinista, como adoptan nichos ecológicos diferentes, no conservan las mismas mutaciones, y divergen cada vez más a medida que pasa el tiempo.

Pero si es cierto que esta separación se va acusando, ¿cómo es posible que todas las líneas adquieran, en los Reptiles Teriodontos, caracteres de mamífero, en los Équidos caracteres elefantiásicos, en los Primates caracteres homínidos?

En la mayoría de los Reptiles Teriodontos, los caracteres de mamífero son muy análogos y afectan a los mismos o, casi los mismos órganos (hueso de la mandíbula, hueso del cráneo, músculos masticadores, nervios de esos músculos, diferenciación, forma e inserción de los dientes…).

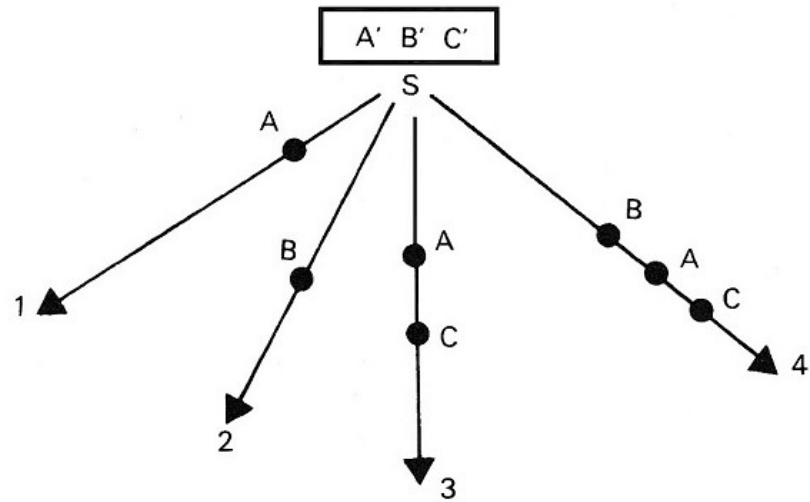
Tomemos tres caracteres de mamífero desigualmente repartidos entre 4 líneas de Teriodontos que han salido del mismo tronco T: A, formación de un paladar secundario; B, alargamiento del dentario; C, desplazamiento de las inserciones de los músculos masticadores.

1.a eventualidad



Los genes A, B, C correspondientes a esos caracteres existen en el tronco T. Están inhibidos o latentes; nada desvela su presencia. Entran en acción en momentos diferentes en las líneas de T.

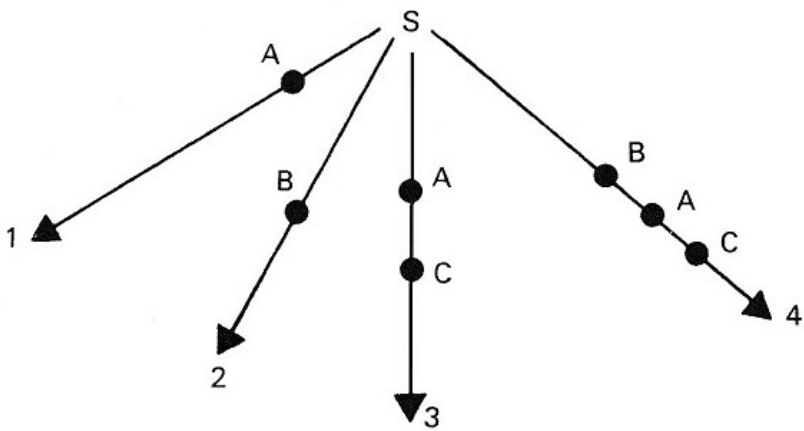
2.a eventualidad



Los genes A, B, C no están presentes en el tronco T; figuran bajo otras formas
A',
B',
C',
que en las líneas hijas mutan en momentos diferentes pero idénticamente, convirtiéndose en los genes A, B, C.

3.a eventualidad

Los genes de mamífero no existen en el tronco T; aparecen en momentos diferentes, pero idénticamente, en las cuatro líneas.



Después de la primera eventualidad se plantean cuestiones del tipo de: ¿de dónde vienen los genes de mamífero A, B, C? ¿Qué causas los inhiben en T y los hacen activos en las líneas hijas?

Si en el tronco T, los genes A, B, C son idénticos a lo que son en la línea donde se expresan, hay que concluir que *la evolución se efectúa con antelación en el antepasado* sin que nada la traicione exteriormente. Se inscribe en el ADN y permanece en estado latente, esperando circunstancias favorables para expresarse en el fenotipo de las generaciones sucesivas. Esta *evolución críptica* escapa, dado su carácter interno, a la selección natural, a menos que hagamos revivir la vieja idea de una selección germinal, imaginada por W. ROUX y considerada más tarde por WEISMANN (ver

más adelante).

En cuanto a la 2.ª y 3.ª eventualidades, suponen, sin decirlo, que los fenómenos evolutivos, mutaciones para los darwinistas, se producen de manera idéntica en diversas líneas, a despecho de la pequeñez de sus probabilidades. Que varias mutaciones adecuadas se presenten en la misma línea es un éxito sorprendente, casi increíble, pero que el éxito se repita en todas las líneas no es creíble. Un fenómeno que se repite, ¿puede salir del azar? ¿No estará más bien fuertemente determinado por una ley?

Pero entonces, ¿qué agentes fisicoquímicos domestican el azar y hacen mutar idénticamente a los genes A, B, C en el seno de líneas separadas a menudo, desde hace decenas de millones de años?

En realidad, la situación del darwinismo contemporáneo es peor de lo que parece.

Hasta aquí le hemos concedido una gran ventaja, razonando como si las variaciones observadas en los fósiles fueran mutaciones, *pero no lo son*. Hemos dado ya muchos argumentos; contentémonos con recordar que esas variaciones no son cualesquiera, que se desarrollan por adiciones sucesivas en el mismo sentido, según un ritmo infinitamente más lento que el de cualquier modificación causada por mutación-selección en poblaciones naturales (ver la obra de E. B. FORD sobre la genética ecológica, 1971), que los caracteres nuevos están en correlación entre ellos y con los que persistían. Por medio de ellos, se realiza el idiomorfo, unidad de evolución por excelencia. Todas las propiedades o cualidades enumeradas antes, no se encuentran en las mutaciones. Las etapas evolutivas por las que han pasado los Reptiles Teriodontos para llegar a ser Mamíferos, no tienen ninguna relación con los cambios desordenados y fortuitos. Ningún paleontólogo podría decir lo contrario sin renegar de su propia ciencia.

Para la doctrina darwinista, la prueba es capital. Cualquiera que sea la eventualidad tenida por real, es incapaz de explicarla, trátese de una evolución por factores internos o por variaciones no aleatorias. La teoría está atrapada en un nudo que ningún ardid dialéctico puede aflojar.

Toda evolución conocida con algún detalle (génesis de Anfibios, de Reptiles, de Mamíferos, etc.) conduce a admitir que un fenómeno, del que no existe equivalente en los seres vivos actuales

(bien porque no existe, bien porque no lo vemos), se manifiesta en el curso de su desarrollo.

Es un trabajo que tiene a la célula por instrumento y sede; prepara la evolución de los seres vivos. Se opera en función de las influencias ejercidas sobre el organismo por los factores externos y por ciertos factores internos ligados al quimismo del cual el ser viviente es el crisol.

Numerosos teóricos darwinistas o discípulos más o menos fieles de LAMARCK han intentado recurrir a los factores internos para explicar la evolución. Entre los primeros dos grandes nombres se destacan con particular relieve W. ROUX (1881) y A. WEISMANN (1896-1902).

Partidarios incondicionales del darwinismo, extienden a las moléculas y a los órganos que constituyen el ser viviente, el dominio en el que se ejerce la competencia, es decir la selección.

Según ROUX, la lucha se desarrolla entre las moléculas, los tejidos, los órganos; su motivación es la captación de alimentos que, según su grado, asegura un crecimiento más o menos grande y, como consecuencia, la diferenciación.

Para explicar la adaptación de los Équidos a la carrera, resulta cuando menos temerario considerarla como el resultado de una batalla que tiene lugar entre los diferentes dedos, obteniendo la victoria, en todos los miembros, el tercero. Una tal interpretación parece ingenua y poco verosímil.

WEISMANN, darwinista puro entre los puros, adversario irreductible de los lamarckianos, pero hombre de ciencia de una probidad y objetividad intachables, ha reconocido las insuficiencias de la doctrina y las ha denunciado públicamente. Para él, la selección natural tal y como la concebían DARWIN, WALLACE y sus discípulos contemporáneos, no explica las variaciones que se suceden en un orden determinado, el desarrollo de los órganos complejos y las correlaciones entre las partes, la presencia en el momento preciso de la variación útil, el crecimiento y la reducción de órganos **[100]**.

WEISMANN imagina que la selección natural se juega en tres niveles: entre individuos (DARWIN y WALLACE), entre partes, órganos, tejidos… de un mismo individuo (W. ROUX) y entre determinantes germinales (equivalentes de nuestros genes) (A. WEISMANN).

La lucha más importante se desarrolla entre las partículas «vitales invisibles» (los genes), ya residan en las células corporales (soma) o en las germinales. Estos «determinantes» no son nunca idénticos a sí mismos y sus «fuerzas de asimilación» del alimento, son desiguales. Los más fuertes atraen hacia ellos los alimentos y sus descendientes dominan sobre los otros. De lo que resulta que a la segunda generación, las partes del organismo que estaban representadas en el huevo por los determinantes más fuertes son las más desarrolladas… Así se explica la acumulación de algunos caracteres; los determinantes de órganos que la selección natural favorece, se nutren mejor que los otros y son los ganadores en la competición, de aquí que el cambio se acentúe en la misma dirección…

Inútil proseguir con la exposición de la teoría, porque ningún hecho la corrobora. El descubrimiento de genes independientes, aunque incluidos en la misma banda de ADN, no le es favorable. La idea de una lucha entre genes no parece sostenible en el estado actual de nuestros conocimientos. Si hay modificación de genes, resulta quizás de una acción directa ejercida sobre ellos por el citoplasma, acción análoga a la que revelan los experimentos de fecundaciones entre especies pertenecientes a géneros diferentes. Los trabajos de GODLEWSKI
(1906-1911)
(cruces de Equínidos), de BATAILLON y TCHOU-SU (1929) (rubeta × sapo), han mostrado que los cromosomas aportados por el espermatozoide de una especie A no son tolerados, en parte o en su totalidad, por el citoplasma del huevo de una especie B; son eliminados del huso acromático, en bloque o en parte, en el curso de las sucesivas divisiones. Ocurre a veces que los cromosomas del espermatozoide de una especie C son rechazados por el citoplasma de una especie D, pero no es así a la inversa; los cromosomas del espermatozoide son tolerados por el citoplasma del huevo de C. Todos los casos son posibles, desde la tolerancia total a la incompatibilidad total entre el citoplasma hembra de una especie y los cromosomas que proceden del macho de otra.

Esto demuestra la amplitud de la acción del citoplasma sobre los cromosomas y probablemente sobre su complejo más característico, el ADN.

Sea como fuere, la existencia de factores internos que intervienen en la evolución se impone en todo espíritu objetivo, pero la hipótesis de WEISMANN no es aceptable. Hay que encontrar otra cosa.

Si se estudian los textos recientes sobre los factores internos de la evolución, se da uno cuenta de que en realidad los inspira la búsqueda de un antiazar diferente a la selección, con vistas a explicar la estructura adaptativa, finalista, de los seres vivos.

Los escritos de SPURWAY (1949) son, en este sentido, plenamente reveladores. Preocupada por el hecho de que un grupo de organismos afines esté caracterizado por *possibilities of mutation* similares que determinan las *evolutionary possibilities of the group*, admite como una hipótesis «que una especie, familia o clase muta más fácilmente hacia ciertos genotipos que hacia otros, pudiendo el espectro de mutaciones de un grupo determinar sus posibilidades evolutivas». HALDANE (1958), su esposo, recoge la idea de WEISMANN de una selección interna de genotipos y supone que una «evolución direccional» no sería debida a los cambios del medio y que el trastorno de un proceso de desarrollo, anodino para una especie, puede ser letal o subletal para otra que le esté emparentada, pero que tendría un papel en la selección (lo cual está admitido desde hace mucho tiempo).

Todo esto es terriblemente verbal.

Investigadores de gran reputación, entre los cuales se encuentran en primera fila C. H. WADDINGTON (1957), J. LANGRIDGE (1958), WOODGER (1959) y WHYTE (1965), proponen explicaciones del mismo género, próximas a las teorías de W. ROUX y A. WEISMANN, pero aquéllos las expresan en términos de la genética. WADDINGTON se muestra circunspecto y no duda en escribir, a propósito de algunos hechos producidos en favor de la selección germinal: «Sin embargo, estos ejemplos no son muy convincentes».

WHYTE (1965) ha explicado ampliamente la posición de los darwinistas reformistas; insiste en la impotencia de la selección natural limitada a las poblaciones, mientras que desarrolla argumentos en favor de una selección genético-germinal, pero sus argumentos son de orden puramente teórico.

Por otra parte, el darwinismo ortodoxo rechaza con vigor toda intervención de una selección interna; no admite más que la

selección que se ejerce sobre las poblaciones, o condesciende en no rechazar totalmente la idea de una selección interna, pero añade que no puede conducir a nada importante.

No siendo darwinistas, el debate no nos toca directamente; sin embargo, tendremos en cuenta que biólogos que permanecen fieles a los principios enunciados por Darwin, reconocen que éstos no explican enteramente la evolución, en especial que la selección natural que se ejerce sobre las poblaciones naturales no tiene poder alguno para orientar la evolución.

No deja de ser singular que ninguno de los biólogos o filósofos de la naturaleza citados más arriba se haya referido, para mostrar las insuficiencias de la doctrina darwinista, a la verdadera evolución en acción que revelan los fósiles.

Sin embargo, es ésta la que nos impone imperiosamente el recurso a factores internos. Rechacemos también la legitimidad del dilema en el que algunos darwinistas pretenden encerrarnos:

Este dilema no corresponde a una realidad; se debe a la imaginación de los doctrinarios. No temamos repetirnos, las mutaciones no explican ni la naturaleza, ni la ordenación temporal de los hechos evolutivos; no son proveedoras de novedades; el suministro preciso de partes que constituyen los órganos y el ajuste de éstos entre sí sobrepasa sus posibilidades.

La intervención de los factores internos en la evolución es menos «mística» que la del azar o la preadaptación providencial.

Entra muy bien dentro del cuadro de la tesis lamarckiana. Según WINTREBERT (1962), el ser vivo no adquiere nada que no sea obra suya, su respuesta a una influencia exterior, o a un cambio etológico. *Vivir es reaccionar, nunca padecer*. Sobre todo no es esperar del azar el suceso feliz y salvador.

Personalmente no estamos convencidos de que las tendencias hacia el idiomorfo, que son las características fundamentales de la evolución mejor mostradas por la paleontología, sean explicables únicamente por el binomio acción del medio-reacción del organismo. La evolución se prepara, se forja en la intimidad del ser, de sus células, en respuesta a influencias tanto internas como externas. Reconocemos encantados el estado de dependencia del ser vivo con respecto al medio, pero creemos que el organismo que trata por sí mismo los datos sensoriales, tróficos o de otro tipo que

recibe de fuera, es capaz de edificar algo nuevo. Los medios utilizados por la célula para crear la novedad se nos escapan y, sin embargo, existen.

¿Qué sucedía en las células que componían el cuerpo de los Reptiles Teriodontos que preparaban la génesis de los Mamíferos? Probablemente, reacciones de ordenamiento molecular en función de la infraestructura y de la composición química de esas células.

La evolución no resulta de pequeñas enfermedades, de ligeros malestares de la célula; depende de la estructura fisicoquímica de los seres vivos en su totalidad como propiedades que se derivan o emergen de ésta. La constitución celular de los Teriodontos era tal que implicaba la realización de la forma mamífero. *Esta génesis no tiene nada que ver con el azar ni con el principio vital*.

Los hechos paleontológicos a los que acabamos de referirnos no son los únicos que constriñen a recurrir a causas diferentes de las mutaciones aleatorias y de la selección antiazar; hay muchos otros.

Cuando ÉTIENNE WOLFF (1971) constata que en el pequeño sapo vivíparo del monte Nimba (*Nectophrynoides occidentalis*) se han desarrollado, en perfecta correlación, caracteres que permanecen apenas bosquejados y en estado latente en los demás Anfibios y que han permitido una ontogénesis rigurosamente vivípara, plantea la cuestión de saber cómo un sistema anatómico y fisiológico tan complicado, que no se encuentra en perfecto estado más que en los Mamíferos, ha podido constituirse en este pequeño Anfibio, aislado en las praderas húmedas y altas de Guinea.

Prácticamente el mismo fenómeno se encuentra en los Selacios, en los cuales el viviparismo se ha desarrollado de maneras diversas y en direcciones algo divergentes. En los Peces la evolución se ha entregado a una profusión de inventos, tales como esas largas vellosidades de la pared interna del útero, o trofonema, que por ramilletes atraviesan el espiráculo (1.ª hendidura branquial postocular) penetran en la cavidad faríngea del embrión y difunden materias alimenticias. Cosa extraña, en el mismo género *Mustelus*, cuyas especies son vivíparas, sólo una, *M. canis*, forma una placenta.

En el mismo orden, resulta aún más singular el *Hemimerus talpoides*, una forfícula (tijereta) que vive como ectoparásito en la piel de la rata de Gambia (*Cricetomys gambianus*). Es un vivíparo

verdadero; su huevo minúsculo se desarrolla en las vías genitales maternas, y una placenta, en cuya formación participan el embrión y la madre, asegura la nutrición del primero a expensas de la segunda. Las forfículas verdaderas se reproducen todas por huevos que ponen en las cavidades del suelo, quedándose cerca de ellos y rodeándolos de cuidados. Las *Arixenia* de Java que viven en los guanos del murciélago son quizás vivíparas.

Los genes que en *Nectophrynoides occidentalis* controlan la viviparidad y en *Mustelus canis* la placentación, ¿existían en los antecesores directos de estos animales? ¿Han sido adquiridos a lo largo de una evolución acelerada de estas únicas especies? ¿O están presentes, pero inactivos, en todos los demás miembros? El problema se confunde con el de la evolución críptica; pero aquí, el parentesco entre especies, así como la comunidad de la mayoría de los genes no puede ponerse en duda. De todas maneras, esto no concierne obligatoriamente a los genes propios del viviparismo o de la placentación.

Algunos de los genes que intervienen en el viviparismo de *Nectophrynoides* existen en los otros Anfibios, pero tienen sólo una mínima eficacia; por ejemplo, las células luteínicas de los ovíparos derivan de las células foliculares ováricas y contienen trazas de la hormona progesterona, pero esto es todo. En los Selacios vivíparos, menos estudiados que el sapo guineano, las novedades parecen ser más evidentes.

Si admitimos que todos los miembros de un grupo de animales ovíparos poseen genes capaces de instaurar el viviparismo como testimonian algunas especies, debemos preguntarnos de dónde vienen esos genes. ¿Qué causas los inhiben o los activan? ¿Quién coordina tan armoniosamente sus efectos? ¿Cómo influiría la selección en genes que no se manifiestan por efectos apreciables?

ÉTIENNE WOLFF estima, con razón, que nuestro saber es demasiado corto como para permitir responder pertinentemente a estas cuestiones.

Es posible que *Nectophrynoides* haya reaccionado a una influencia del medio pero debemos tener en cuenta que otro Anfibio vive en las praderas sin haber tenido que adoptar el viviparismo **[101]**. Todos los *Mustelus* viven en las aguas litorales y no manifiestan, de una especie a otra, particularidades ecológicas o

etológicas importantes; la placentación de una de ellas no resulta ni de una acción selectiva ni de una reacción ante el medio.

El *trabajo evolutivo* del ser vivo nos sorprende por su causalidad escondida y su finalidad (en la que piensan incluso los que se pretenden antifinalistas), generalmente muy aparentes. Pero ¿es esto más sorprendente que las *reacciones adaptativas* que unos animalitos unicelulares oponen a circunstancias en las que se encuentran inmersos, reacciones que están inscritas en el patrimonio de la especie y las otras no?

En el activo de las primeras se inscribe la puesta en posición normal de la *Arcella* vuelta de espaldas (*Arcella* es una ameba cuyo cuerpo está contenido en una concha en forma de boina, de donde salen los lóbulos citoplasmáticos o pseudópodos que sirven para reptar y para tomar alimentos), por medio de largos pseudópodos enviados lo más lejos posible de la concha, que se adhieren por su extremidad libre al sustrato y se contraen intentando levantar la concha pero, por sí solos, no consiguen generalmente poner al animal derecho. Le ayuda una segunda reacción: el citoplasma segrega una burbuja gaseosa que sube a la pared más alta de *Arcella* y desplaza el centro de gravedad; los pseudópodos, ya sin dificultad, hacen bascular la concha a la posición normal: con la abertura hacia el sustrato.

He aquí ahora la reacción adaptativa no hereditaria de una ameba —el animal más simple— que acredita lo que ERNST HAECKEL, padre del materialismo moderno ha llamado el *poder psicógeno* de la célula (o la *lebendige Masse*). En una infusión rica en grandes amebas, accidentalmente una de ellas (los animálculos tienen sus accidentes) se engancha en una pequeña espina; prisionera como está ¿qué le ocurre?, ¿morirá «empalada»? El citoplasma de la ameba se hiende (por una invaginación), decir que se exfolia**(e44)** sería más justo, siguiendo una línea paralela a la espina (como se corta un trozo de mantequilla con un hilo metálico); cuando la hendidura alcanza la espina, la ameba separa los dos lóbulos y de esta manera se encuentra liberada.

Este hecho relatado por CH. PÉNARD, eminente protistólogo suizo, observador impecable, nos muestra en estado puro, por desconcertante que sea, el poder psicógeno e inmediatamente adaptativo del citoplasma. Todo observador de infusorios ha

asistido a hechos similares; yo mismo he visto una gruesa ameba de tipo proteo (*Chaos diffluens*) acorralar a un infusorio ciliado, en el ángulo formado por dos filamentos de Espirogiras y capturarlo con sus pseudópodos.

Los comportamientos de *Arcella* y de la ameba (podríamos escribir un pequeño libro sólo sobre ellas), no son *invenciones* de biólogos vitalistas. Han sido observados por naturalistas que conocen su profesión y conservan su objetividad ante los espectáculos más extraños que puedan ofrecerles las infusiones o los medios de cultivo, y miden la complejidad de las estructuras y de las conductas.

Dedicamos estas observaciones a los que simplifican las propiedades del ser vivo hasta el punto de hacerlas insignificantes. La observación de la fauna en acción, en su medio, es un ejercicio tan indispensable para el biólogo como para el filósofo de la naturaleza.

¿Por qué no haría la línea lo que hace el individuo? Las reacciones individuales de la célula se hacen específicas y hereditarias; *Arcella*, con su facultad de volver a ponerse en posición normal, proporciona la prueba de ello. Estamos en el terreno de la realidad.

Las tendencias que orientan la evolución dependen de factores internos que creemos sin relación con el combate de las partes, imaginado por W. ROUX y la selección germinal de la que hablan AUGUST WEISMANN y los darwinistas reformadores. Estos factores se integran en un mecanismo que pone de relieve propiedades fisicoquímicas propias de cada individuo y de sus constituyentes.

Así, el poder creador y adaptativo que posee todo ser vivo, por simple que sea, no tiene nada de propiedad mística, de entelequia en el sentido de DRIESCH (1909) y de DAWYDOFF (1942). Se constata en el comportamiento de seres unicelulares, en las «morfosis» de plantas (plantas alpinas de BNNIER, rábanos anaerobios de MOLLIARD…). Es fácil descubrirlo a través de la experiencia.

Este poder, carente de relación con el instinto y la inteligencia, sobrepasa, en nuestra opinión, al alma celular imaginada por E. HAECKEL (1877); se emparenta con el poder regulador sin el cual no puede subsistir un sistema natural autónomo.

La creación de lo nuevo

La evolución no se limita a transformar lo existente, ya esté concretado en el cuerpo celular o grabado en el ADN. La evolución crea, y no queda más remedio que aceptarlo si no se quiere llegar, bajo una forma enmascarada y moderna, a una tesis preformista próxima de la de los homúnculos, tal como la formulaba CH. BONNET en 1764 (*Contemplación de la Naturaleza*).

El pelo del Mamífero necesita una información y el correspondiente ejecutante, que faltan en el Reptil. La adquisición en tal caso es indudable. Parece ocurrir lo mismo en el caso de la mama. Los Reptiles no están desprovistos de glándulas tegumetarias, pero son raras y están poco desarrolladas. Las células glandulares de estos Vertebrados, como lo han demostrado GABE y SAINT-GIRONS
(1965-1967),
manifiestan una tendencia a queratinizarse, mientras que las glándulas tegumentarias de los Mamíferos se cargan de materias grasas y alcanzan su forma perfecta en las glándulas sebáceas.

Ninguna glándula de reptil anuncia las sudoríparas, ya sean merocrinas o apocrinas (holocrinas). Sin embargo, las glándulas mamarias de todos los Mamíferos se emparentan con las glándulas sudoríparas. La antigua hipótesis de GEGENBAUR (1886), según la cual sólo las mamas de los Monotremas tendrían su origen en las glándulas sudoríparas, mientras que las de los Marsupiales y Euterios procederían de las glándulas sebáceas, ha sido abandonada a la vista de los hechos. Pero si las semejanzas hablan a favor de una filiación a partir de las glándulas sudoríparas, glándulas propiamente «mamales**(e45)**», es preciso no olvidar que las glándulas mamarias manifiestan una independencia real a lo largo de la ontogénesis. Sus primeros esbozos, las crestas mamarias, pliegues ectodérmicos sobresalientes en la dermis subyacente**(e46)**, parten de las axilas simétricas a cada lado, hacia la cara ventral del embrión y terminan en los pliegues de la ingle, mientras que las glándulas sudoríparas no tienen ningún esbozo lineal, que brote en lugar alguno, sino que se limitan a emergencias puntuales.

No es inútil añadir que todo en la anatomía y la embriogénesis atestigua que las glándulas sudoríparas y el pelo han estado

estrechamente ligados a lo largo de la evolución. ¿Acaso no aparecen casi en su totalidad y al mismo tiempo en los mismos órdenes? Cetáceos, Proboscídeos, Sirénidos, Folidotos.

Se observan hechos análogos cada vez que se analizan los caracteres propios de cada filum, de cada clase, incluso de cada orden.

No soy el único en sostener la idea que lancé hace ya varios años de que la evolución creadora no se explica únicamente por la modificación de los genes preexistentes, sino que exige la génesis de genes nuevos. He aquí lo que escribe un genético americano en relación a esto: «Yet, being an effective policeman, natural selection is extremely conservative by nature. Had evolution been entirely dependent upon natural selection, from a bacterium only numerous forms of bacteria would have emerged. The creation of metazoans, vertebrates and finally mammals from unicellular organism would have been quite impossible for such big leaps in evolution required the creation of new gene loci with previously non-existent functions» (OHNO, 1970)**(e47)**.

Todo esto parece evidente, pero para verlo no hay que cerrar voluntariamente los ojos.

La independencia y la preeminencia del ADN

La mutación implica un cambio pero no una creación. Nos debemos preguntar también si es la única variación dotada de valor evolutivo.

A esta pregunta numerosos genéticos responden con osadía afirmativamente, aunque su ciencia no sea la evolución.

Otros bioquímicos toman el pretexto de la estructura heterogénea del ADN y de la transcripción de su información por el ARN para erigir en dogma el principio según el cual el ADN es no sólo el depositario y el difusor exclusivo de la información específica de que dispone el ser vivo, sino quien preside la génesis de dicha información.

Al ADN cromosómico se ha añadido el de las mitocondrias, el de los plastos, el de los cinetoplastos, lo que no ha disminuido en nada la omnipotencia de esta sustancia, excepcional en tantos aspectos. Que el ADN sea el depositario de la información hereditaria no está sino indirectamente en relación con el mecanismo evolutivo tal

como lo concebimos.

El ADN *no manifiesta sus propiedades, digamos sus poderes, más que si el citoplasma (concebido en su totalidad) se lo permite*.

En este citoplasma existen los portadores de una información secundaria (hormonas, ferormonas, etc.) que desencadenan, específicamente, actividades génicas. El hecho no puede ser contestado, ya que ha sido ampliamente observado: si se priva al organismo del Insecto de ecdisona (hormona de la muda), los cromosomas gigantes de las glándulas salivares de la larva de chironomo (pequeño Díptero nematócero) pierden algunas burbujas**(e48)** ricas en ARN. Al mismo tiempo, en las células la proporción de ciertas enzimas (hialuronidasa, trealasa, proteasa) disminuye. Los genes han pasado a un estado de reposo (BEERMAN y CLEVER, 1964).

Las hormonas son las grandes animadoras del ADN y de los ARN; toda su fisiología lo demuestra. Pero la información original reside en el ADN y emana de él.

Consideremos el huevo en desarrollo. La información del futuro organismo no está condensada solamente en el ADN cromosómico, pues reside en parte en las estructuras citoplasmáticas. La segmentación del huevo tiene como objeto repartir los elementos de la información citoplasmática de lugares diferentes, en los que algunos genes (ADN cromosómico, ADN mitocondrial) manifiestan su poder. Ésta crea localmente medios que estimulan a algunos genes y se muestran propicios para su funcionamiento; los genes activados modifican el medio que, a su vez, estimula a otros genes, y así sucesivamente.

En el huevo en desarrollo, el organizador embrionario es un lugar donde han sido formados los materiales dotados de propiedades particulares a lo largo de la organogénesis y puestos en su sitio durante la fecundación. En las células que lo constituyen, algunos genes son activados y desencadenan la producción de sustancias informadoras (no químicamente específicas) que difunden fuera del organizador y ponen en oscilación**(e49)** genes contenidos en los núcleos de algunos blastómeros. Así es la propiedad calificada de inducción embrionaria.

Del ADN nuclear parte un incesante flujo de información mientras que otro va hacia él y desencadena su actividad. Las

relaciones entre el citoplasma y los cromosomas (ADN), y viceversa, son constantes y obligatorias.

La cascada de acciones génicas está bajo dependencia de desencadenantes o señales químicas. En un blastómero A, un gen *a* induce la formación de una sustancia S que pasa al blastómero B, donde provoca la actividad de un gen *b* y, como consecuencia, la formación de una sustancia S_1 que pasa a un blastómero C y así sucesivamente. Este esquema se acerca mucho a la realidad.

Antes incluso de que los descubrimientos recientes invalidasen el dogma de la independencia total del ADN y de su preeminencia en las funciones celulares y la ontogénesis, estábamos en condiciones de suponer que los ácidos nucleicos no estaban al abrigo de acciones enzimáticas u hormonales de origen citoplasmático. No existe proceso biológico, formado por una cadena de reacciones químicas, que no sea reversible total o parcialmente y que no determine una retroacción. Esta retroacción no siempre es posible, ni mucho menos inmediata; se produce a menudo con discreción y retraso; aunque indirecta, no es por ello menos real. Y, aparte del proceso, no siempre —aunque sí a menudo— existe un sistema mantenido de alguna manera en reserva y dispuesto a moderarla, a acentuarla e incluso a inhibirla. El regulador no pierde nunca sus derechos.

¿Por qué razón los ácidos nucleicos iban a gozar de un estatuto de privilegio en el ser vivo? No parece probable. En realidad, los partidarios del ADN soberano tienen una idea inexacta de la jerarquía de los constituyentes celulares y de los órganos en el ser vivo. Esta jerarquía se asemeja a una red cuyas mallas se extienden en tres direcciones, y no la pirámide dominada por el ADN. Las uniones no son, en absoluto, rectilíneas y unívocas; son multívocas y, a menudo, zigzagueantes. Y esto es válido para el interior del organismo y para los efectos que producen en él las recepciones sensoriales. La unidad individual sobrepasa no sólo la yuxtaposición y la integración de las partes, sino que impone a éstas una solidaridad constante en todas las circunstancias.

La concepción dualista de WEISMANN facilita el discurso didáctico, pero disimula la unidad profunda del organismo.

Lo que ocurre en el citoplasma fundamental, aunque sean conocidas algunas proteínas que lo componen, permanece en la

oscuridad. La influencia que ejercen sobre los cromosomas ha sido evidenciada por varios experimentos ya antiguos e ignorados por la casi totalidad de los biólogos contemporáneos. CHAMBERS (1917-1921)
pincha con un fino estilete los espermatozoides de primer orden del saltamontes americano (*Dissosteira carolina*), un minuto después los cromosomas se acortan, a continuación toman formas en cruz, en gancho…, características del estado paquiteno de la diacinesis. Otra experiencia: los núcleos de los espermatozoides que penetran en un huevo de erizo de mar inmaduro se ponen en consonancia con el núcleo ovular (A. BRACHET, 1922); si éste contiene cromosomas bien individualizados, se ve aparecer los del núcleo macho, sin pasar por los estados vesiculosos intermedios, como en el curso de la fecundación normal. Como dijo A. BRACHET: «El estado del citoplasma condiciona la estructura nuclear». Las experiencias, todavía más antiguas, de centrifugación de huevos de *Ascaris* realizadas por BOVERI y HOGUE (1909) no han perdido nada de su valor y actualidad. Han mostrado que el destino de los cromosomas —comprendida la amputación de las partes— está sometido a la dependencia del cromosoma**(e50)** en el que se baña.

No hay que olvidar que el germen de ciertos animales debe sus *propiedades* a la presencia de blastómeros que lo formaron con un material citoplásmico determinado, pertinentemente llamado *determinante germinal*. Así, el germen todopoderoso se encuentra situado a lo largo de la ontogénesis bajo la dependencia de sustancias contenidas en el citoplasma. El esquema acción-reacción-acción se aplica muy bien en este caso; los genes provocan en el huevo la formación del determinante germinal que decidirá el destino de los blastómeros en los cuales está secuestrado por la segmentación.

A través del ciclo vital que conduce del huevo al adulto pasando por la gametogénesis y la fecundación, el ADN conserva su estructura, éste es el hecho innegable; pero su puesta en acción depende del citoplasma ambiente. La ontogénesis no es más que una sucesión de acciones y reacciones que se producen entre el ADN y su medio. Los organizadores, centros secundarios de información, despiertan algunos genes, al mismo tiempo que preparan los materiales que éstos ponen en acción.

El organismo es un todo. El ADN aislado no es capaz de nada.

La intangibilidad del ADN y el dogma central

El dogma de la intangibilidad del ADN poseedor y distribuidor exclusivo, siempre en sentido único, de la información biológica, ha sido sostenido por eminentes bioquímicos (WATSON, CRICK…) y genéticos (JACOB, MONOD…). He aquí lo que decía J. MONOD en 1970: «Ni se ha observado, ni es concebible, que la información sea nunca transferida en sentido inverso…» (*El azar y la necesidad*).

La tinta de estas líneas aún no se había secado cuando surgió irrebatible y cimbreante el desmentido. La lógica de lo viviente, que, dicho sea de paso, era la del biólogo y no la de la naturaleza, se vio trastornada y su hermoso edificio profundamente agrietado.

El descubrimiento de enzimas capaces de utilizar el ARN viral como matriz para la síntesis del ADN está considerado como una revolución en la biología molecular **[102]**.

Desde 1964, TEMIN evocaba, a título de hipótesis, la posibilidad que tendría el ARN de formar una réplica del ADN. Seis años más tarde, en colaboración con S. MIZUTANI, demostró que, efectivamente, el ARN del virus de Peyton Rous, agente patógeno del sarcoma de las gallinas, engendra, gracias a una de sus enzimas, la *transcriptasa inversa*, una réplica bajo la forma de ADN que, según él, debería incorporarse al cromosoma de la célula bajo la forma llamada provirus. En algunas condiciones, este ADN provirus da el ARN viral, modelo inicial del circuito ARNr-ADN-ARNv**(e51)**.

DAVID BALTIMORE (1970), independientemente de TEMIN, ha encontrado los mismos hechos utilizando el virus de la leucemia de Rauscher que atacaba a los ratones.

Poco después, SOL SPIEGELMAN (1970) y su grupo anunciaban el descubrimiento, en siete variedades de oncornavirus, de una polimerasa que sintetiza un ADN complementario del ARN viral, confirmando así el papel de modelo de este último. Estos mismos bioquímicos, utilizando la técnica de hibridación entre el ADN y el ARN, han demostrado que el nuevo ADN sintentizado imita bien al ARN viral.

M. HILL y J. HILLOVA (1972) han observado que el ADN aislado de células (XC) de rata previamente infectado por el virus del

sarcoma de Rous (cepa de Praga) transforma los fibroblastos de pollo, que se ponen a producir partículas virales infecciosas del tipo sarcoma de Rous.

Los trabajos que confirman este hecho se multiplican rápidamente. Señalaremos que G. TODARO y sus colaboradores (1971) han mostrado la existencia de una actividad de transcriptasa inversa en dos virus de ARN no cancerígeno (virus lentos que causan desórdenes cerebrales, concretamente en el carnero). Así, la enzima no está, en absoluto, ligada únicamente a la propiedad cancerígena. Existen otras pruebas.

Las investigaciones de HATANAKA y de sus colaboradores (1971) aportan nuevos hechos favorables a las constataciones de TEMIN. Estos autores introducen el virus del sarcoma «murin» o de la leucemia murina en un cultivo de células embrionarias (fibroblastos) de ratón. Utilizando la autorradiografía y la timidina tritiada observan que a la contaminación de la célula por el ARN de oncornavirus sigue una fuerte y brusca síntesis de ADN. En la célula permanentemente contaminada no se observa tal síntesis, de igual modo que utilizando los mismos virus tratados por los rayos ultravioletas. HATANAKA y sus colaboradores estiman que sus resultados se explican por el hecho de que la síntesis del nuevo ADN ha sido inducida por el ARN viral. Este ADN no es mitocondrial; permanece asociado al ADN de la célula huésped de manera duradera.

Los trabajos muy recientes de ROSS, AVIV y sus colaboradores (1972), y de KACIAN, SPIGELMAN y sus colaboradores (1972), operando *in vitro* utilizando una transcriptasa inversa purificada procedente de un virus ARN (mieloblastoma aviaria**(e52)**) y el ARNm para la síntesis de la globina (considerado como uno de los ARN mensajeros más característicos de los Mamíferos), han mostrado que el ARNm globina en presencia de la transcriptasa inversa permite la síntesis de un ADN complementario (gen de la globina).

Otros trabajos no menos importantes ponen en evidencia que una transcriptasa inversa actúa ligada con ARN no procedente de virus. Citaremos los que conciernen directamente a nuestro tema.

BELJANSKY y colaboradores (1972) tratan cultivos de colibacilos (*Escherichia coli*) con un antibiótico, la showdomicina, aislada de

un hongo, *Streptomyces showdoensis*. Toda la población así tratada puede convertirse muy rápidamente en resistente y mostrar propiedades nuevas: síntesis de ARN no complementario de ADN, proteínas de estructura y proteínas enzimáticas modificadas. Sólo la hipótesis de un gen habitualmente no expresado y «despertado» en condiciones particulares justificaba tales observaciones. En efecto, estos autores han demostrado la existencia de un episoma de ARN asociado al ADN y convertido en funcional en presencia de showdomicina. Aislado mecánicamente y purificado, este ARN posee un poder «genético» propio: en presencia del bacilo tumefactor de las plantas (*Agrobacterium tumefaciens*), modifica ciertas propiedades, en particular suprime su poder cancerígeno. Las bacterias transformadas por el episoma ARN expulsan, como las bacterias showdomicino-resistentes, un ARN capaz, a su vez, de modificar otras bacterias.

La transformación así obtenida del bacilo de la tumefacción es hereditaria. Ha afectado, por tanto, al código genético del microbio.

BELJANSKY sugiere una explicación: el ARN introducido en las bacterias aceptoras iría a intercalarse entre algunos ARN asociados ya al ADN (por medio de ligasas, por ejemplo), creando así un nuevo episoma de ARN capaz de imponer su información propia en el seno de la información del huésped. En efecto, él y sus colaboradores han mostrado la existencia en las bacterias de una transcriptasa inversa capaz de sintetizar un ADN complementario precisamente sobre el modelo de ARN transformante, episoma o excretado, y los dos poseen el mismo potencial genético (BELJANSKY y MANIGAULT, 1972).

Los trabajos a los que acabamos de referirnos muestran que existe un mecanismo molecular que, en ciertas circunstancias, aporta una información exterior al organismo y se inserta en el ADN del código genético. Esto, para un evolucionista, tiene una inmensa importancia **[103]**.

La adquisición de la información por el ser vivo

La información hace y anima al ser vivo. La evolución, en conjunto, es el proceso por el que modifica su información y adquiere una nueva.

Los factores extrínsecos o intrínsecos, por intermedio de las

enzimas o del ARN, actúan sobre el ADN. Nada evolutivo se inscribe en el código genético sin un trabajo preliminar de la célula entera. La mutación es un accidente o una enfermedad que no tiene sino una relación muy lejana con el proceso evolutivo; la independencia de la mutagénesis con respecto a la evolución lo prueba.

La inscripción en el patrimonio hereditario de las reacciones evolutivas (adaptativas) requiere condiciones particulares. Sin embargo, sabemos, y debemos tenerlo presente, que la evolución no ha cesado de amortiguarse a medida que el mundo viviente envejecía. ¿Por qué causa se hacen más raras las reacciones evolutivas? Pregunta vana en el actual estado de nuestro saber. Cuando la biología molecular haya ganado en precisión, en exactitud, quizá esté en condiciones de responder.

Sin embargo, disponemos ya de hechos que no **(e53)** proporcionan la solución al problema evolutivo, pero permiten comprender mejor los fenómenos y orientar la investigación por vías hasta ahora no seguidas.

El animal no sobreviviría si no estuviera informado sobre su ambiente, tomando el término en su sentido más amplio. Los órganos sensoriales reciben los mensajes, los transmiten, modificando su forma, a los centros nerviosos que los tratan y, a partir de ellos, elaboran respuestas adecuadas a los estímulos exteriores. Los centros nerviosos, ordenadores del programa variable del organismo, son ellos mismos el producto de la información específica e innata y se someten a su control permanente.

La información específica reside en el interior de cada célula en las cadenas de ADN y se identifica con el código genético **[104]**. Es la inteligencia de la especie materializada bajo una forma extremadamente miniaturizada. Es también la de la línea en un momento T de la evolución. Se ha establecido, inserta e integrada en el ADN, a lo largo de las sucesivas etapas franqueadas por la especie. Resulta de una lenta elaboración mientras se establecía un estado de equilibrio entre el ser vivo y su medio.

La información específica se transmite bajo la forma de señales químicas lanzadas por los segmentos o genes de ADN. Un análisis muy avanzado ha revelado que está contenida en este ácido bajo la forma de cadenas (secuencia de tres nucleótidos sucesivos que

constituyen el código de un aminoácido) que pueden ser asimilados a unidades de información (*bits*); el gen se comprende como un conjunto de codones.

Pero, según la doctrina darwinista y el dogma central de CRICK, el ADN no es sólo el depositario y el distribuidor de la información, es el *único creador*. ¿Es verdad esto? No lo creemos.

El ADN sufre por sí mismo mutaciones a lo largo de sus replicaciones en las células germinales, de las cuales hemos tratado a menudo en este libro. Pero el error modifica lo que preexiste y no crea.

La biblioteca no hace la información, la recibe del exterior, la clasifica y la conserva. Los monjes medievales cometían faltas de copias que alteraban y viciaban los textos que debían reproducir. ¿Quién osaría pretender que sus errores son la obra misma?

Si la tesis de CRICK es exacta, el primer ser vivo, ya lo hemos dicho, poseía en sí *todos los genes* que han permitido la génesis de plantas y de animales en su infinita variedad. No pudiendo venir del exterior otra cosa que el desorden de las mutaciones (postulado de WEISMANN, puesto al día por CRICK), el ADN se erige necesariamente en el único creador de la información biológica. Acordar un tal poder a una sola sustancia, por muy complicada que sea su estructura molecular, nos parece una aberración. En realidad, el ADN, para obligar al ser vivo a evolucionar, debe recibir mensajes procedentes ya sea de otras partes de la célula, ya sea de órganos (hormonas, por ejemplo), ya sea del exterior (diversos estímulos sensoriales, feromonas, etc.). Por sí mismo, no vemos por medio de qué milagro podría crear una información adecuada a una función determinada.

El conjunto de mutaciones o *espectro mutativo* de una especie no tiene nada que ver con la evolución. Los «jordanons» (equivalentes de los mutantes) del panadizo común (*Erophila verna*), del pensamiento (*Viola tricolor*) **[105]**, de los plantagos **(e54)** (*Plantago*), de los carraspiques (*Iberis*) constituyen ricas colecciones bien inventariadas que suministran una prueba irrefutable; estos mutantes no derivan los unos de los otros y son indefinidamente estables. Ofrecen una visión de especies con su cortejo de variantes que no varían. Traducen en cierta forma las oscilaciones del polimorfismo en una unidad específica y a uno y a otro lado del

estado de equilibrio de un genoma con el medio ambiente. En definitiva, *Erophila verna, Viola tricolor…*, a pesar de sus numerosas mutaciones, no evolucionan. *Es un hecho*.

El catálogo de razas de perros, como el de cualquier otro animal doméstico, no es sino el espectro mutativo de la especie, sometido a la criba de la selección artificial. Lo mismo puede decirse de la lista de variedades presentadas por las plantas cultivadas.

Nada de esto representa una evolución.

Toda adquisición de una nueva información exige un cambio de estructuras, una adición. No se trata en absoluto de una o varias unidades preexistentes que cambian o son suprimidas, sino, más bien, unidades *añadidas*.

El ordenador está limitado en estas operaciones por el programa que lo dirige y por las unidades de información con las que ha sido aprovisionado. Para extender sus posibilidades, es preciso enriquecer su contenido. De fuera es de donde le viene lo nuevo.

En biología, la comparación analógica pone la interpretación en peligro, ya que aplica nuestra lógica, la lógica aristotélica, a los fenómenos vitales; no hemos dejado de resaltar en diversos capítulos de este libro el hecho, pero la cibernética nos enseña, y no es en absoluto despreciable, que algunos modelos de dirección se imponen tanto a los sistemas autorreguladores naturales que son los seres vivos, como a los sistemas físicos o fisicoquímicos inanimados. El modelo cibernético, del cual la filosofía no ha sacado aún plenamente partido, vale para todo tipo de sistemas biológicos, ya sean relativos a la estructura o la función que, por otra parte, dependen estrechamente la una de la otra.

A menudo, el ingeniero, aun sin saber biología, construye una máquina cuyos principios han sido ya utilizados por los seres vivos. Esta coincidencia significa que para alcanzar un cierto objetivo los caminos son poco numerosos y, a veces, se reducen a uno sólo.

Según mi opinión, la comparación de ciertas funciones del ser vivo con las operaciones del ordenador no ocultan ninguna idea reduccionista; trata sólo de mostrar que la sumisión a un programa y el aporte de una información exógena para obtener la emergencia de novedades se imponen tanto a la máquina como al ser vivo.

Pero volvamos a lo que decíamos algunas páginas atrás. Es seguro que la información del ADN, como la que contiene un libro,

no es liberada y puesta en acción sino por una intervención exterior; su portador, estimulado específicamente, se convierte en emisor de mensajes que parten en forma de secuencias de ARN (ARNm) y reproducen la orden transmitida por los nucleótidos de uno o varios genes. Este ARNm pasa ordinariamente del núcleo celular al citoplasma.

El mensaje del ARNm, para ser comprendido, debe encontrar en la célula un *receptor* capaz de descodificarlo, de descifrarlo. Este receptor se compone de ribosomas ricos en ARN, de aminoácidos y de compuestos variados; gracias a él, un mensaje inducido dirige la síntesis de una proteína (holoproteína o heteroproteína con grupo prostético), pero es necesaria la presencia de una enzima, la ARN aminoacilsintetasa, para catalizar la reacción. Sin embargo, el origen biológico de esta enzima influiría en el orden de los aminoácidos de la proteína sintetizada. ¿No podría deducirse, en la medida en que esté permitido extrapolar los resultados de las experiencias realizadas *in vitro*, que la sintetasa juega también un papel de informador en la proteinogénesis?

El estado del medio celular en el que se desarrollan las reacciones condiciona el resultado de la síntesis; entre los factores activos se cita el pH, la temperatura, la concentración de iones de magnesio; están también implicados «factores de iniciación» de naturaleza proteínica: serían necesarios tres factores proteínicos —IF1, IF2 e IF3— para la fijación del ARNt iniciador al «mensajero», para que éste quede ligado a los ribosomas (SABOL, OCHOA y sus colaboradores,
1968-70).

Los factores externos alcanzan los genes utilizando diversos caminos. Por ejemplo, la estimulación de receptores sensoriales desencadena, en algunas neuronas cerebrales, una neurosecreción cuyos productos, tras recorrer los axones, llegan a las glándulas endocrinas. Provocan la secreción de hormonas que, liberadas en el organismo, activan genes en ciertas células.

A título de ejemplo, citemos la larga cascada de acciones y reacciones que en los Vertebrados encuentra su fuente en estímulos visuales (formales o puramente luminosos), que alcanzan el cerebro (hipotálamo, hipófisis…) y las glándulas endocrinas (tiroides, suprarrenales, testículo, ovario…) que segregan las hormonas

activadoras de genes. En los Insectos, la cascada tiene también un origen sensorial (visual, antenas…), pasa por la *pars intercerebralis* (u otra zona cerebral), alcanza las glándulas endocrinas (*corpus allatum*, glándula ventral) que liberan las hormonas estimuladoras de genes. Esta activación, comprobada en los Dípteros por la formación de engrosamientos en diversos puntos (*loci*) de los cromosomas gigantes de las glándulas salivares, es provocada por la ecdisona. Incluso en el huevo, el ADN solo no puede nada. Las enzimas que el espermatozoide aporta consigo activan el huevo, cuya infraestructura y arquitectura modifican. Tras una alteración citoplásmica entran en juego algunos genes y lanzan la síntesis de proteínas enzimáticas que preside la diferenciación de blastómeros y hojas embrionarias **[106]**.

La repetición de un mismo gen y la redundancia

Los tratados y manuales de genética son de una extrema, incluso total, discreción sobre la formación de nuevos genes. Ignoran este problema, primordial para cualquiera que desee explicar la evolución.

Según WATSON y CRICK (1953), la molécula de ADN, para replicarse en doble hélice, se abre longitudinalmente a la manera de una cremallera; cada mitad sirve de matriz a una nueva mitad complementaria que queda unida a ella y se construye con los nucleótidos presentes en el jugo nuclear. Así se explica que la reproducción de genes sólo pueda tener lugar en el sentido longitudinal de la cinta de ADN, donde se encuentran situados a cada lado, en una sola fila, como las cuentas de un rosario (MORGAN, 1811).

El descubrimiento de genes repetidos, llamados redundantes, en el interior de un mismo cromosoma impone la idea de una génesis intercalar. De todas maneras, el intercalado de nucleótidos o de codones en una cadena de ADN no ha sido señalado más que en el momento de la integración de un virus (profago) al ADN huésped y de una transducción viral (ver más adelante) de fragmentos de ADN detraídos de una primera célula huésped. Pero tales procesos no han podido crear una estructura en la que el mismo gen se repite varios centenares de miles de veces.

La transformación de una larguísima secuencia de codones, repartidos sin orden, en una serie de secuencias cortas (genes) idénticamente compuestas es una eventualidad no absurda pero hipotética. Y se debería también plantear la cuestión previa acerca del origen de la secuencia larga.

La adición de nucleótidos a los extremos libres de la cadena de ADN parece más verosímil. Por este procedimiento alargan sus moléculas los ácidos nucleicos de síntesis (o de subsíntesis). De todas maneras, en las Bacterias y los Peridíneos, únicos seres en los que es conocida la forma del ADN cromosómico, la cadena se cierra en círculo, sobre sí misma. Pero si el anillo se abre, la adición de nucleótidos puede hacerse terminal y producirse el cierre más tarde, una vez terminada la adición (véase lo dicho sobre la rotura y soldadura de cromosomas).

Señalaremos que los genes redundantes han sido observados en regiones variadas de los cromosomas no forzosamente terminales. Se ha supuesto que los genes iterativos controlan caracteres cuantitativos de deterninismo polialélico, pero no se ha suministrado la prueba.

La mutación de un gen se vería aumentada por la redundancia sin que el número de sus tipos sea más elevado. En ausencia de estadísticas precisas, esta aserción no es más que una hipótesis.

La formación de nuevos genes y los problemas que suscita

La formación de nuevos genes no ha sido observada por *ningún biólogo*, y, sin embargo, sin ella la evolución se convierte en un fenómeno inexplicable; hemos dado ya múltiples razones.

La biología molecular suministra al evolucionista los medios para concebir o prever las condiciones en las que una tal síntesis puede realizarse.

Proponemos no una suposición gratuita, sino una deducción partiendo de hechos bien establecidos, relativos a la estructura y la síntesis de ácidos nucleicos, así como a los enzimas que las condicionan.

Recordemos que la cadena de
ARN**(e55)**

sintetizada por la hemimolécula de ADN es una hélice simple, que se suelta de la matriz formadora y cae en el jugo nuclear. Por el contrario, el ADN nuevamente formado queda fijado a la hemimolécula, de la que es el exacto complemento.

He aquí las condiciones mínimas requeridas para la formación de un nuevo gen funcional:

1.º Adición de codones a las cadenas cromosómicas de ADN.

2.º Formación de una enzima que sea el animador del nuevo gen, abriendo la molécula de ADN a nivel de éste y haciendo así posible la formación de un ARN mensajero.

3.º La enzima no debe producirse más que en las células en las que el gen ejerza una acción precisa, de acuerdo o, al menos, en complemento con las demás funciones del ser vivo.

Para ser funcional, la nueva secuencia de codones debe poseer un sentido biológico, es decir, debe emitir un ARNm portador de un mensaje que desencadene la síntesis de una proteína que ejerza una acción nueva o que perfeccione una función preexistente.

Examinemos las cosas de cerca.

Si el nuevo gen nace por adición de nucleótidos a los extremos libres de la molécula de ADN, falta el modelo (hemimolécula). La nueva secuencia deberá ser una hélice simple. Pero si nos referimos a los nuevos trabajos de TEMIN, ésta puede duplicarse bajo la acción de una enzima. En efecto, este bioquímico y sus colaboradores han descubierto una actividad enzimática capaz de transformar en doble hélice la cadena de un ADN simple a expensas del «híbrido» ARN viral-ADN del huésped. Otra enzima recorta en trozos la cadena de ADN, propiedad que no interesa a nuestro presente propósito.

La secuencia de ADN que se formaría en el extremo de una molécula de doble hélice, ¿poseería una actividad génica? Nadie lo sabe. En ausencia de un modelo emisor de mensajes significativos, los nucleótidos añadidos no tienen valor sino por su orden; teóricamente, nada se opone a que se organicen en codones y que éstos ordenen la formación de una nueva proteína que intervenga en el régimen del ser vivo.

Si la síntesis del gen se limita a las operaciones que acaban de ser descritas, la significación biológica del nuevo segmento de ADN se limita al puro azar, ya que el encadenamiento de los nucleótidos es aleatorio.

La secuencia de codones nuevamente formados sólo fortuitamente adoptaría un sentido biológico, como las letras que en el teclado de una máquina de escribir pulsan los monos mecanógrafos imaginados por ÉMILE BOREL, convirtiéndose en palabras significativas. La célula no sería más inventiva que estos frutos inconscientes.

El gen así formado no puede, teóricamente, funcionar sin la existencia de una enzima específica que abra la molécula de ADN a su nivel y permita la síntesis del ARN portador de su mensaje [107]. Esta exigencia disminuye las probabilidades de éxito aleatorio de la síntesis, ya que la formación de la enzima es tan poco probable como la del gen.

La evolución creativa debe triunfar no en uno, sino en dos o tres terrenos. En teoría, esto es posible, pero una probabilidad tan baja roza lo nulo.

Por otra parte, ¿no es una apuesta pretender explicar un fenómeno que mantiene una orientación precisa durante milenios por un mecanismo fundado en esperanzas ínfimas de éxito?

Recordando que la génesis de los Mamíferos y de sus órdenes ha sido un lento y constante ascenso hacia idiomorfos fuertemente caracterizados, rechazamos la explicación, demasiado fácil y pueril, de la adquisición casual de nuevos genes.

El mecanismo bioquímico y molecular que se pone en oscilación en el momento de la formación *conjunta* de un gen y la enzima que abrirá el segmento de ADN correspondiente, no puede ser de esencia aleatoria.

Es probable que uno de los más poderosos factores internos de la evolución concierna a la formación de nuevos genes y su sistema regulador.

Se observan fenómenos de orientación y regulación en toda la embriogénesis y nadie piensa en negar su existencia. Cuando se trata de una filogénesis en la que la orientación de los fenómenos es tan aparente como el desarrollo del huevo, las discusiones suben de tono y ciertos biólogos se escandalizan ante la idea de que la evolución siga una cierta dirección. ¿Tan difícil es atenerse a los hechos?

La formación del gen se separa profundamente del proceso mutagénico que altera el orden secuencial de los nucleótidos que

forman los codones de un segmento de ADN. Bajo nuestro punto de vista, ninguna otra cosa se ve afectada en la mutación, ni los enzimas «animadores» del gen ni las células en que dicho gen actuará; el sistema está dispuesto para funcionar.

El mecanismo creador es bastante más complejo que un desorden aparecido en el código genético. Hace cooperar varios constituyentes celulares y depende directamente del estado de la célula, que sufre las influencias exteriores.

Como decimos más arriba, los factores internos de la evolución, cuya realidad deriva del estado de las líneas de animales fósiles, probablemente se confunden con los mecanismos formadores de genes y de sus satélites o auxiliares, los enzimas.

La dificultad está en sorprender**(e56)** en acción dichos mecanismos, mientras que la evolución se adormece y la mutagénesis se mantiene, o eso parece, invariable. Pero puede ser que en ciertos seres vivos los biólogos despierten potenciales evolutivos que se creían agotados.

No separar la mutación de un gen de la creación del mismo, es verdaderamente no comprender lo que es el mecanismo íntimo de la evolución.

La selección interna de la que hablan WEISMANN y sus discípulos actuales, los darwinistas reformadores, si existe, debe ejercerse en los nuevos genes y enzimas; es difícil concebir los medios que utiliza para este fin. Si el nuevo gen está solo, sin su animador, es decir, en estado no funcional, es probable que no turbe la vida celular; al ser tolerado persiste. Los segmentos de ADN con reputación de ser genéticamente inactivos, cuya masa (según los autores clásicos de la biología molecular) es considerable, son probablemente genes cuya formación no ha sido acoplada a la de los enzimas animadores. Así, poseen o no un sentido, les falta una facultad de expresión; no disponen más que de enzimas que aseguran la replicación del ADN.

La selección no afecta a la novedad inacabada; en efecto, ¿cómo actuaría sobre una función venidera? Unicamente entra en acción, si es que interviene, cuando el gen es efectivamente funcional e influye en el equilibrio fisiológico de su poseedor **[108]**.

Una nueva concepción del gen y la sobreimpresión

genética

La noción de gen estaba implícitamente contenida en las teorías particulares de la herencia bastante antes de que JOHANNSEN creara el término (1911). El idioplasma de NAEGELI (1884) y los determinantes de WEISMANN (1892), designan aproximadamente lo que llamamos genes. Las observaciones y los experimentos no han dejado de fortalecer esta noción que ha contribuido inmensamente al progreso de nuestro saber acerca de la herencia.

La molécula de ADN de la que CHARGAFF (1950, 1956) desentrañó la composición química y WATSON y CRICK (1953) la configuración, no contiene en su seno ninguna partícula aislada y es un edificio cuya continuidad está asegurada por los enlaces de hidrógeno que unen los nucleótidos complementarios. *El gen no puede por tanto ser sino un segmento de la molécula, cuya posición es revelada por las recombinaciones entre genes*, consecuencia de los entrecruzamientos de cromosomas o *crossing-over*. Se construyen los llamados mapas genéticos de la especie marcando sobre rectas, que representan cromosomas, los puntos o segmentos correspondientes a las posiciones (*loci*) de los genes (de algunos, claro está, no de todos), del ser considerado. Todo esto es el ABC de la genética.

Actualmente se admite que el gen tiene como función provocar la síntesis de una proteína específica, casi siempre una enzima, de ahí el aforismo de BEADLE y TATUM (1941): «un gen, una enzima». El gen es el segmento de ADN que codifica la información propia para edificar esta proteína. En el momento de su entrada en acción, la molécula se abre a su nivel y sirve de modelo a un ARN mensajero en el que se repiten los ribonucleótidos complementarios, en el mismo orden que los desoxirribonucleótidos del
ADN **[109]**
y que tiene la configuración de una cadena simple.

Como hemos tenido ocasión de señalar, el ARN mensajero sale del núcleo, lleva su mensaje a unos orgánulos, los ribosomas, compuestos también de un ARN particular y de proteínas ribosómicas, utilizando los aminoácidos contenidos en el citoplasma.

El código que permite la transcripción y la transmisión del

mensaje se compone de unidades de información o *codones* formados por tres nucleótidos [110]. Sin entrar en el detalle de las hipótesis e interpretaciones, que el lector encontrará expuestas en los manuales clásicos de genética, retendremos que un gen es una sucesión de nucleótidos que a razón de tres contiguos, forman codones; cada codón lleva la información necesaria y suficiente para determinar la posición de un aminoácido en una proteína en vías de síntesis.

Los ribosomas, gránulos agrupados en ciertos puntos del citoplasma, se muestran capaces de decodificar el mensaje, de leerlo y con la ayuda de enzimas, de sintetizar las proteínas según la orden recibida.

No basta imaginar la manera en que se crea un nuevo gen, es preciso saber además, y esto es importante para el evolucionista, qué es espacialmente(e57) lo que limita y hace de él una unidad funcional. Las leyes de la herencia mendeliana y los hechos que revela la biología molecular atestiguan que un carácter es una entidad que se mantiene idéntica a sí misma a través de generaciones sucesivas. No puede por tanto estar determinada por una causa variable y el gen que la controla debe ser constante en sus efectos. Por otra parte, si los genes no están exactamente circunscritos, ¿cómo podrían ser descifrables sus mensajes?

Las consecuencias de los entrecruzamientos de cromosomas, de las traslocaciones, las inversiones… de segmentos cromosómicos son tales que tenemos derecho a concluir que las rupturas se producen entre genes. El hecho es turbador pero existe. He aquí una experiencia que muestra su realidad, debida a la soviética GERASSIMOVA.

Las células germinales de *Crepis tectorum*, una planta de la familia de las Compuestas, son sometidas a una fuerte irradiación (rayos X). Los cromosomas se rompen; sus segmentos se sueldan por los extremos. Seleccionando los reproductores, GERASSIMOVA obtiene individuos cuyos cromosomas se encuentran en número igual al de los padres pero que han sufrido traslocaciones recíprocas. Estos individuos quedan sexualmente aislados, ya que sus cromosomas, en el momento de la meiosis, al ser incapaces de aparearse con los de los progenitores, hacen la hibridación imposible. Así, los *Crepis* de dotación cromosómica trastornada forman una nueva especie,

Crepis nova, que se parece en todo a sus progenitores, *Crepis tectorum*. A pesar de las rupturas de cromosomas y de las soldaduras consiguientes, los mensajes enviados por el ADN son perfectamente descifrables y producen los mismos efectos. Esto invita a concluir lógicamente que todas las roturas se han producido entre los genes.

En algunos casos los genes no están separados por zonas mudas. Estudiando el *locus r II* del bacteriófago T4, BENZER (1959, 1961) constató que la acción ligada a este *locus* se debe a dos unidades funcionales adyacentes de efectos complementarios, unidades llamadas *cistrones* [111]; nada indica que los dos componentes estén aislados por una zona que tenga el valor de un signo de puntuación.

Los clásicos de la genética admiten que un cistrón está compuesto de uno o varios genes que ocupan posiciones distintas (llamadas mutacionales porque son reveladas por una mutación) y que actúan de una manera sinérgica y complementaria. El emplazamiento de los genes del cistrón está determinado por la habitual técnica de las recombinaciones de caracteres, consecutiva a los entrecruzamientos de cromosomas; se ha reconocido en las drosófilas para el carácter de ojos *romboidales*, y en los hongos del género *Ascobolus*, para una propiedad de orden químico.

No llegaremos a afirmar como lo ha hecho TAVLITZKI (1972) que «el término de gen ya no tiene significación» cuando «se afina» en el análisis genético; ya que siempre el determinismo de todos los caracteres hereditarios va ligado a uno o varios segmentos de ADN. El nombre por el que se designa este o estos segmentos, no tiene en definitiva importancia.

Precisemos y generalicemos lo que hemos escrito a propósito del huevo en desarrollo y de la actuación de los genes.

Un segmento de ADN no se abre, ni elabora un mensaje más que si el citoplasma y el jugo nuclear se encuentran en un estado determinado; probablemente si contienen un principio activador, enzima u hormona. La célula pasa por estados constitutivos y fisiológicos que se suceden según un orden cronológico fijo. Estos estados, no hace falta decirlo, varían de un órgano a otro, de una categoría celular a otra. *Cada uno de ellos pone en acción genes diferentes*.

Sean los genes D, M, R, S, W de un insecto. D entrará en acción

en el blastodisco del embrión; M mucho más tarde en el momento de la diferenciación del sistema nervioso; R, sólo en los discos imaginales de la larva al principio de la metamorfosis; S, al final de la metamorfosis, en el momento de la génesis de las escamas; W, en la síntesis de una ferormona que incita a la hembra a copular.

Sin duda y lo sabemos desde hace tiempo, mucho antes de las experiencias de GURDON (1963), todos los núcleos de las células de un Metazoo contienen el código genético *completo* de la especie; pero éste no envía sus órdenes más que si son «solicitadas» por su ambiente, es decir, por el citoplasma que rodea el núcleo y por el jugo nuclear en el que se bañan los cromosomas. En los capítulos que preceden hemos dado ejemplos.

COMMONER (1968 y en otras diversas publicaciones) ha mostrado, con buenos argumentos, que en la síntesis de proteínas específicas, diversos factores bioquímicos (principalmente polimerasas y sintetasas) *aportan* una información complementaria de la del ADN.

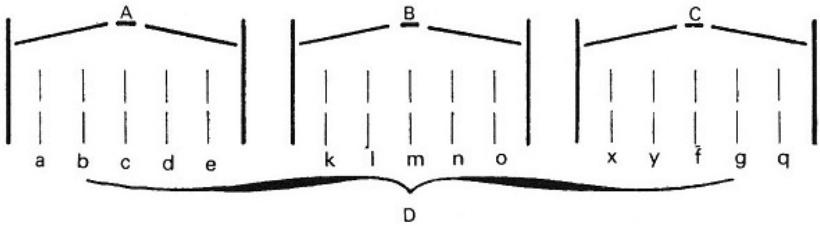
Las acciones enzimáticas y hormonales tienen un papel preponderante en la vida de la célula donde efectores y reactores no cesan de influirse mutuamente. Se constata que por sí mismo el ADN no toma la iniciativa de las operaciones; no actúa sino bajo la influencia de ciertos principios. No hay ninguna necesidad de recurrir al análisis minucioso de la proteogénesis para afirmar que la independencia del ADN es una palabra vana. Sin las enzimas y las hormonas que ejercen sobre él su acción específica, es tan inerte como el cuarzo. Actualmente se puede decir que el ADN tiene una estructura constante turbada tan sólo por las mutaciones, y que su entrada en acción depende de sustancias que le son externas.

Por otra parte, las diversas actividades de la célula se desarrollan según un orden cronológico fijo, que no cae bajo la dependencia directa del ADN: un reloj enzimático extracromosómico desencadena y somete a un ritmo las entradas en escena de los genes.

Gracias a estos datos, concebimos el código genético de una manera diferente a una hilera de genes y proponemos una interpretación que sin repudiar la teoría clásica, da la clave del problema, hasta ahora sin solución.

Nada se opone a que un mismo *locus* (o lo que nosotros creemos

que es el mismo *locus*) funcione más de una vez a lo largo de la vida de un organismo y de manera diferente. Expliquémonos. Tomemos tres genes adyacentes A, B y C pertenecientes al genotipo de un insecto del que no indicamos, voluntariamente y para simplificar, más que algunos codones:



A funciona a lo largo de la embriogénesis;
B funciona a lo largo de la metamorfosis;
C funciona en el momento de la aproximación sexual.

Fuera de estos períodos se admite que el largo segmento A, B, C queda en reposo. Pero ¿no tiene otra actividad, en otro momento, que la de sus tres genes reconocidos y separados? Tenemos derecho a preguntárnoslo. Lo que cuenta en el gen es el orden, el número y la cualidad (por su base) de los desoxirribonucleótidos, es decir, de los codones. Supongamos que en el trío A, B, C, bajo el efecto de una sustancia S, los codones se combinan para constituir un cuarto conjunto o gen D, que comprende los codones e, k, 1, m, o, x, y. Es posible que tal agrupamiento forme un cistrón y dirija un carácter diferente de los que determinen los genes A, B, C.

Ninguna enseñanza de la genética o de la biología molecular se opone a esta hipótesis que asigna al ADN facultades de grabación informativa más extensa que las que le otorga la tesis clásica. Explica que la cantidad de ADN no se corresponde obligatoriamente al número de genes. Gracias a esta hipótesis de la *sobreimpresión* se comprende que la cantidad de ADN puede ser paradójicamente mayor en un Vertebrado inferior que en un Mamífero cuya estructura y funcionamiento exigen un número de genes más elevado que el que necesitan los Peces, Anfibios o Reptiles.

Dos condiciones parecen obligatorias para que los genes puedan funcionar en sobreimpresión:

Los «genes de puntuación», si existen en realidad, no pueden ser

sino una secuencia de codones, cuyas funciones no aparecen claramente (¿zonas mudas?).

De hecho, la molécula de ADN se presenta como un teclado sobre el que tocan los estímulos químicos que determinan los límites del gen y lo hacen eficiente, es decir, emisor de un ARN que codifique un mensaje significativo.

¿Quiénes son los animadores y delimitadores de los genes? Se conocen hormonas (ecdisona de los Insectos, hormonas estrógenas de los Vertebrados…) cuya acción específica afecta a una secuencia de codones estrictamente limitada. Estas hormonas resultan ellas mismas indirectamente, de un trabajo en el que participa el ADN codificando, al principio, las proteínas que al reaccionar con los iones, los metabolitos, las vitaminas… contenidos en el citoplasma, sintetizan dichas hormonas o principios diferenciadores (organizadores en el embrión).

La liberación de una enzima (¿por abertura de lisosomas?) permite la replicación a distancia de orgánulos tales como el aparato parabasal (aparato de Golgi de los Flagelados) y los flagelos, sin que el ARN o el ADN parezcan intervenir (FAURE y GRASSÉ, 1935; GRASSÉ, 1957, 1961) **[112]**.

La imagen que traduce con cierta fidelidad el funcionamiento celular es la de una cadena circular, dando vueltas sobre sí misma y cuyos eslabones se ligan y desligan según un ritmo fijo. El cuadro que presenta la célula dominada por un Olimpo donde reina el ADN soberano, es majestuoso pero inexacto.

Se puede objetar a nuestra interpretación que un virus reproduce un ácido nucleico, ARN o ADN, sin enzima activadora u otro principio. En cuanto el virión se despoja de su envuelta proteínica, el ácido nucléico se replica, encontrando en el citoplasma de su huésped los nucleótidos y enzimas que le permiten efectuar la síntesis. Para el virus, o el imperativo cronológico no interviene, o su intervención es difícilmente perceptible, lo cual no es el caso para el ser celular de cromosomas altamente estructurados, con dispositivo genético que se pliega a servidumbres cronológicas y con segmentos de ADN a los que sacan de su inercia, bien un principio estimulante, o bien el levantamiento de una inhibición, lo cual es menos probable.

La dependencia del ADN con respeto a los animadores génicos, a

los elaboradores de nucleótidos y probablemente también al ARN, implica al principio una doble creación, una que concierne al gen, la otra al animador.

Ha sido necesario que simultánea o sucesivamente sean adquiridos el gen y su (o sus) animadores, contenidos en el jugo nuclear o en el citoplasma. Aquí se afirma todavía la diferencia que separa la *mutación* de la *novación*(e58). En la primera el gen cambia y en el citoplasma, el animador que le corresponde está *siempre presente*, la expresividad génica permanece. En el segundo, es posible, o al menos probable que el nacimiento de un nuevo gen no sea sincrónico con la génesis de sus animadores. En ausencia de animador génico, la novación no puede manifestarse. Se presiente que han aparecido diversas eventualidades a lo largo de los tiempos (*ver* en capítulo VIII, los segmentos genéticamente mudos).

La síntesis de ácidos nucleicos y la adquisición molecular de información

Es útil confrontar las interpretaciones que acaban de exponerse con los ensayos emprendidos para obtener la síntesis, si no total, al menos parcial de los ácidos nucleicos, y la transferencia de información.

Nos referimos primero a los ensayos de síntesis *in vitro* del ADN (KORNBERG, 1960, 1962, 1969, 1972). *A priori* son capaces de revelarnos cómo una nueva información puede nacer en un ADN sintentizado, cuya actividad biológica (todo hay que decirlo) no ha sido demostrada.

KORNBERG y sus colaboradores (1967) han extraído del bacilo cólico (*Escherichia coli*) una enzima, la ADN-polimerasa que encadena los nucleótidos libres. A partir de este descubrimiento se han emprendido numerosos ensayos de síntesis de ADN.

Se añade polimerasa a un medio amortiguador que contiene cuatro clases de desoxirribonucleótidos (que difieren en su base: guanina, adenina, timina, citosina) en forma de trifosfatos (tres átomos de fósforo en lugar de uno solo), cloruro magnésico, *una parcela de ADN* y un *cebador ARN*. Esta enzima liga unos a otros a los nucleótidos libres, uniéndose el grupo hidróxilo de un nucleótido al carbono C en posición 3 del azúcar desoxirribosa,

situado al final de la cadena de la molécula [113].

Se sabe hoy que el bacilo cólico posee no una, sino tres polimerasas (I, II, III). La polimerasa de KORNBERG (polimerasa I) es ahora considerada como la responsable de la reparación del ADN, no de síntesis [114]. En cuanto a las polimerasas II y III intervienen en la reparación y quizás en la síntesis del ADN.

Por otra parte, y esto para nuestro propósito es de una gran importancia, la síntesis del ADN parece requerir la presencia de ARN. Desde 1963, CAVALIERI establecía que un ARN puede servir de modelo en la síntesis del ADN bajo la influencia de la polimerasa I procedente de *Escherichia coli*. Ahora se acepta generalmente que la presencia de un ARN cebador es necesaria para desencadenar la replicación del ADN de *Escherichia coli* y el de diversos fagos. El equipo de A. KORNBERG (1972) ha aportado hechos llenos de interés. Ha logrado *in vitro* la conversión de un ADN en hélice simple extraído de un fago x 174 en ADN en doble hélice, en presencia obligatoria de cuatro tipos de desoxirribonucleósido-trifosfatos y de un ARN cebador. Esta replicación *implica, por tanto, el enlace covalente del ADN con un ARN cebador*. No se encuentra inhibida por la rifampicina, antibiótico que bloquea sin embargo la actividad de la ARN polimerasa ADN dependiente. ¿De dónde viene entonces la información que preside la síntesis de este ARN? Pudiera ser que la polinucleótido-fosforilasa lo sintetice incluso en presencia de rifampicina, pero no es nada seguro.

Retendremos de estos nuevos conocimientos que la síntesis de ADN resulta de la interacción de un conjunto de factores tanto químicos como físicos entre los cuales señalaremos la presencia de nucleótidos libres, de ADN-polimerasa y de un ARN cebador. Las condiciones en las que se efectúa la síntesis del ADN instruyen sobre el grado de dependencia de este ácido nucleico con respecto a los otros constituyentes celulares. Estamos lejos del aislamiento defendido por el «dogma central».

La cancerización de la célula por un ARN de origen viral imponiendo su mensaje al ADN de su huésped demuestra que la información exógena puede añadirse al código genético.

La transducclón viral y la transferencia de información exterior

El descubrimiento de la transcriptasa inversa ha aportado la prueba de que existen agentes extraños al ADN que tienen el poder de aportar a éste una nueva información.

Recientes observaciones han revelado que un virus integrado al cromosoma de una célula huésped puede llevar consigo cuando lo abandona un segmento de ADN que conserva su poder determinante. A este fenómeno, conocido bajo el nombre de transducción viral, algunos microbiólogos (especialmente ANDERSON, 1970) le atribuyen un papel importante en la adquisición de una información extrínseca por el ser vivo.

La incorporación de ADN robado a la célula huésped (o bacteria) del ADN del virus y la transferencia a continuación a otra célula (o bacteria) parece ser un hecho bien establecido (ver ANDERSON, 1958). Han sido encontrados segmentos de ADN del huésped en la envuelta proteínica (o cápsula) del virus del polioma y del SV 40 **[115]**. TRILLING y AXELROD (1870) estiman que las envolturas del SV 40 contienen suficiente ADN del huésped como para sintetizar 4 ó 5 proteínas.

MERRIL y colaboradores (1971) han introducido en un cultivo de fibroblastos procedentes de la piel de un hombre que padecía galactosemia, enfermedad caracterizada por la incapacidad para metabolizar la galactosa (ausencia de una enzima) **[116]**, fagos portadores de un operón *gal* tomados de colibacilos y productores de una enzima que transforma la galactosa en glucosa. En los fibroblastos infectados por los fagos λ, el ADN del operón *gal* produjo un ARN que indujo la producción de dicha enzima durante ocho generaciones celulares.

Dos microbiólogos americanos, APOSHIAN y QUASBA, utilizando envueltas del virus del polioma de Roedores, que contenían ADN del huésped marcado con un elemento radiactivo (el tritio, un isótopo del hidrógeno), lograron incorporar este ADN a células embrionarias de ratones. El hecho pide confirmación. La demostración de que el ADN marcado se encuentra en el ADN cromosómico de la célula huésped está por hacer.

ANDERSON llega hasta explicar la evolución paralela por la transducción viral. El ojo de los Moluscos Cefalópodos se parece por su estructura al de los Vertebrados. Uno o varios virus habrían trasferido a los Vertebrados la información relativa al ojo, contenida

en el genotipo de los Cefalópodos.

A la hipótesis, ciertamente, no le falta ingenio, pero su fragilidad, incluso su inverosimilitud es enorme. Los Insectos ectoparásitos que viven en la piel de los Mamíferos, cualquiera que sea el orden a que pertenezcan: piojos, Malófagos, pulgas, Coleópteros (*Platypsyllus castoris*), forfículas (*Hemimerus talpoides*), parásito de la rata de Gambia (*Cricetomys gambianus*), tienen varias hileras de fuertes espinas, curvadas hacia atrás y llamadas *ctenidios*. Estas formaciones no se observan más que en los Insectos ectoparásitos. Aparecen en órdenes demasiado alejados, filogenéticamente, los unos de los otros para ser de origen atávico. Las probabilidades de que los ctenidios procedan de un mismo gen acarreado por un virus integrable a todas las especies afectadas son inimaginablemente pequeñas. Y además, ¿de dónde vienen el gen o los genes que controlan la formación de los ctenidios? Se podrían invocar hechos análogos en relación a la convergencia en estructura y fisiología de los ojos de los Cefalópodos y de los Vertebrados. ANDERSON no ha pensado en el número de genes que presiden en unos y otros animales la formación de los ojos y sus anexos, además de los centros nerviosos que les corresponden y les sirven.

Las transducciones virales conocidas han sido puestas al descubierto experimentalmente y no se sabe si se producen también en condiciones naturales. Sea como fuere, la transferencia de genes por virus, seres eminentemente patógenos, parece posible, pero a título excepcional.

Cabe preguntarse si el gen introducido en el ADN cromosómico es tolerado a la larga por el huésped. ¿Se encuentra al abrigo de toda reacción inmunitaria? Sin duda el ADN transmitido no es una proteína, pero puede ser tratado como un corpúsculo extraño para el huésped y, en consecuencia, eliminado.

Por otra parte, este ADN ¿tiene para el receptor un valor evolutivo? Ningún hecho permite responder a esta pregunta. La transducción viral de los genes es aún más aleatoria que la mutagénesis, y no es decir poco.

La novedad por emergencia

No se puede tratar la evolución sin hacer alusión al fenómeno de la emergencia.

La aparición de propiedades nuevas por combinación química es el prototipo clásico de la emergencia tal como la concibe LLOYD MORGAN (1927). La sal de cocina tiene propiedades que difieren profundamente de la de sus componentes, el cloro y el sodio. Esta emergencia no tiene nada de misterioso; es debida a las propiedades íntimas de sus componentes.

Esto se observa también en el ser vivo cuando procede a la síntesis de un número casi infinito de sustancias que intervienen a título muy variado en su estructura, sus funciones, su conducta. Por ejemplo, la síntesis del ácido clorhídrico es obra de las células parietales de las glándulas fúndicas del estómago; este ácido transforma el pepsinógeno (una proenzima) segregado por las células principales de las mismas glándulas, en pepsina. Esta enzima debe sus propiedades, en parte, al gen que ha determinado la síntesis del propepsinógeno y en parte al ácido clorhídrico.

Conviene recordar que el ADN no preside sino la síntesis de proteínas, constituyentes fundamentales pero no exclusivos de los seres vivos. Todo cuanto tienen lugar en la célula después de esta síntesis, no depende más que secundariamente de los genes. Las reacciones entre proteínas, lípidos, glúcidos, compuestos minerales ionizados o no, agua bajo las diversas formas poliméricas… no están en absoluto bajo la influencia directa del ADN. Las heteroproteínas (proteínas combinadas a un grupo prostético) deben en gran parte sus propiedades a sus combinaciones con un compuesto químico, el grupo prostético, como es el caso de las hemoglobinas cuya proteína, una globina, se asocia a un complejo de hierro y porfirina. Todo lo que no es proteína no está codificado por el ADN. Se recordará en esta ocasión que la célula recibe del exterior «materiales» sobre los que actúan las proteínas. Estos materiales juegan un papel importante en la síntesis y el metabolismo. Contribuyen a la emergencia de nuevas propiedades.

El simple examen de los genes y de las proteínas que ellos determinan, conduce al descubrimiento de otra fuente de caracteres emergentes. Tomemos un conjunto de genes: cada una de las proteínas que producen (cada uno la suya) tiene sus propiedades. Pero según el número de proteínas agrupadas y su ordenamiento mutuo, el sistema manifiesta nuevas propiedades, de la misma manera que una serie de piezas de madera según su ensamblaje

serán una viga o una empalizada, con propiedades y funciones diferentes.

Las propiedades de un sistema fisicoquímico o biológico dependen de su grado y modo de organización. El paso de lo simple a lo complejo va acompañado de la aparición de propiedades nuevas. El cerebro humano debe sus facultades al número de sus neuronas y a su ordenamiento.

Los progresos que los bioquímicos han realizado en el conocimiento de la vida celular son inmensos e importantes. Muchos hechos invitan no a rechazar las explicaciones propuestas, pero sí a medir su importancia y a no generalizar apresuradamente. No citaré más que uno: la gramicidina (un antibiótico) es un polipéptido formado por una corta cadena de aminoácidos (10 a 40) sintetizada por Bacterias con esporas que ha llegado a un cierto estadio de su ciclo. Esta síntesis no implica la intervención del ácido ribonucleico mensajero, ni de ribosomas (BHAGAVAN y col., 1966). Se trata, es cierto, de polipéptidos un poco particulares ya que contienen aminoácidos bajo la forma isómera D y aminoácidos tales como la ornitina, que no participan en la composición de las proteínas.

¿De dónde viene la información que preside la síntesis de la gramicidina?

Algunos bioquímicos, MACH y colaboradores (1963), por ejemplo, sostienen que las enzimas o complejos de enzimas que participan en la síntesis de péptidos, poseen una estructura que les permite reconocer la cadena peptídica no terminada y el aminoácido a incorporar. Esto es posible, pero no ha sido probado. Sepamos esperar. Lo importante es la existencia de una síntesis peptídica sin intervención del ARN. Dicho de otra manera, las posibilidades de la célula sobrepasan con seguridad las que nuestros conocimientos actuales incitan a atribuirle.

Conclusión

La evolución, por su inextricable complejidad, sus creaciones, sus orientaciones, su historicidad y, a veces, sus contradicciones, no se parece en nada a la imagen simplificada, estrecha y en definitiva inexacta, que trazan las teorías. Su amplitud es tal que nos planteamos que los problemas que encierra sobrepasan con mucho los medios de la ciencia actual. Las interpretaciones, las explicaciones que cualquiera ofrezca, no pueden ser más que parciales y transitorias.

Los fisiólogos han demostrado ampliamente que el ser vivo es una entidad cuyas partes son todas solidarias y que sometido a las influencias del medio se encuentra —para subsistir— en la obligación de restablecer en todo momento su equilibrio fisiológico por medio de un juego de sistemas reguladores apropiados a las circunstancias.

El evolucionista constata la exactitud de este dato clásico y también que la reacción evolutiva profunda e íntima no se limita a adaptar al ser vivo al medio ambiente, sino que compromete su línea en la realización de un cierto plan de organización. No se trata aquí, sino de un hecho banal que confirma estrepitosamente la paleontología.

Es a nivel de los fenómenos moleculares considerados en estrecha correlación con los fenómenos que se desarrollan a niveles más elevados, donde tienen lugar y donde actúan los mecanismos de la evolución creadora.

Un haz de hechos muestra con evidencia que la mutación mendeliana, alelomórfica, no interviene en la evolución creadora. Es en cierta forma, la fluctuación más o menos patológica del código genético. Es el accidente de la «banda magnética» sobre la que se inscribe la información primaria de la especie.

Hay que buscar fuera de ella la fuente del flujo evolutivo. La

novedad tiene como punto de partida la adquisición de nuevos genes, ya sea adquiriendo secuencias de nucleótidos (en codones), ya sea por medio de la sobreimpresión, tal como la imaginamos.

En la segunda eventualidad, la creación se produce gracias al poder de reconocimiento de la enzima animadora de una nueva secuencia de codones incluidos en la molécula de ADN.

La variación del poder de reconocimiento, del aforo, puede ser considerada como una mutación de un tipo particular e innovador; afecta a la longitud y por tanto a la composición global de la secuencia de codones. En este caso, la emergencia de propiedades nuevas parece posible. Es previsible la existencia de mutaciones enzimáticas tal como las definimos.

Resumamos:

La mutación alelomórfica o genovariación afecta tan sólo al orden de los codones y la naturaleza de las bases de los nucleótidos. Deja intactos el enzima que anima el gen y las células en que éste manifestará su poder.

El proceso evolutivo creador, concebido en función de los datos de la biología molecular comporta tres actos.

Según nosotros, la información nueva que se concreta e integra, de manera permanente, en el código genético bajo la forma de secuencias de nucleótidos, no puede resultar sino de un trabajo intracelular preliminar. Se trata de algo muy distinto a errores de copia, o del espectro de anomalías del ADN, es más bien una labor ordenada que se continúa a través de generaciones sucesivas. Esta elaboración evolutiva se efectúa cuando se reúnen condiciones precisas; lo que en el presente no parece frecuente. El estímulo exterior, la incitación interna y la reacción general del organismo, que alcanza el nivel molecular, probablemente sean los resortes de este prodigioso proceso.

Pero todo esto no explica ni la orientación de la evolución, ni la finalidad de la información. A lo largo de la ontogénesis, los genotipos francamente letales son abortivos, los que lo son menos permiten el desarrollo y el joven o el adulto son eliminados tardíamente. No se ve lo que podría tener de orientador para la forma adulta, el rechazo, a lo largo de la ontogénesis, de genotipos que causan trastornos metabólicos, funcionales o anatómicos. Se trataría más bien de una regulación que de evolución. Además, hay

que descartar la idea de una eventual selección germinal; ningún hecho puede ser aducido en su favor. ¿Por qué razón la selección natural, juzgada insuficiente por WEISMANN, WADDINGTON, WHYTE y otros para orientar las mutaciones cuando opera sobre poblaciones, iba a ser eficaz a nivel de las moléculas, cuando el organismo no está sometido a las agresiones que le inflige el medio?

Nos vemos forzosamente abocados a admitir que el determinismo y el mecanismo de la evolución implican la intervención de factores internos de los cuales hemos dado una idea a propósito de la adquisición de nuevos genes.

La variación lamarckiana autoadaptativa es una respuesta adecuada del organismo a una agresión del medio. ¿Cómo interviene la información? ¿De dónde viene? ¿Cómo explicar su acuerdo con las necesidades del ser vivo? Tantas preguntas, tantos silencios.

Hagamos balance de nuestra encuesta; sin ser satisfactoria, contiene algunos elementos positivos y rechaza interpretaciones a menudo presentadas como verdades establecidas.

1. La evolución, fenómeno orientado, no se nutre sólo de variaciones hereditarias aleatorias que son cribadas por una selección que opera en bien de la población.

2. La evolución exige la adquisición, a lo largo del tiempo, a medida que los organismos se complican, de novedades cuya información se inserta en las hélices de ADN bajo la forma de nuevos genes.

3. El aporte de información y la creación consiguiente de genes son mecanismos profundamente diferentes a la mutagénesis productora de alelos.

4. La paleontología revela que las líneas de un tronco común (forma madre) gozan todas de una misma tendencia hacia una determinada forma, un determinado tipo o idiomorfo, pero en grados diferentes.

5. La evolución depende esencialmente de un trabajo que se efectúa a nivel de infraestructuras, y que desencadenado por factores internos y externos, tiene por efecto producir algunas enzimas, que recuerdan probablemente a polimerasas, las cuales sintetizan con ayuda de nucleótidos libres en el jugo nuclear o en el citoplasma, nuevo ADN y nuevos genes. Insistimos en el hecho de

que la inscripción en el código genético de la información es una operación diferente a la adquisición; la sigue y no se efectúa simultáneamente como en el caso de la mutación. Es posible que la elaboración de la información sea lenta y que se continúe durante muchas generaciones; la paleontología nos enseña que en la realidad ocurre así. En definitiva, el ADN graba y estabiliza la evolución, pero no la crea.

6. La mutagénesis que corresponde a los errores de copia del ADN es utilizada secundariamente por el organismo para realizar el genotipo mejor adaptado a las condiciones del medio ambiente. Es la causa principal de las diferencias entre individuos, razas y especies.

Si la evolución tiene lugar sin la adquisición de genes nuevos, hay que admitir que el primer ser viviente contenía en sí mismo suficientes genes como para engendrar por mutación de éstos las floras y faunas pasadas, presentes y futuras. Lo cual es absurdo.

Recurrir a un mecanismo diferente al mutacional y aleatorio es algo que se impone a todo sistema que pretenda explicar la evolución.

Esto es lo que entienden los darwinistas reformadores y los biólogos de tendencia lamarckiana, de aquí que recurran a factores internos.

Los esfuerzos conjuntos de la paleontología y de la biología molecular (desembarazada ésta de sus dogmas), deberían abocar al descubrimiento del mecanismo exacto de la evolución, sin revelarnos quizás las causas de la orientación de las líneas, de la finalidad de las estructuras, de las funciones, de los ciclos vitales. Es posible que en este dominio la biología, impotente, ceda la palabra a la metafísica.

Apéndice

Con el fin de facilitar a los no especialistas la lectura de esta obra, damos en las páginas que siguen: 1.º una clasificación somera del Reino animal, 2.º la cronología de la Tierra, 3.º un glosario donde están definidos los términos técnicos.

CLASIFICACIÓN NATURAL DEL REINO ANIMAL

UNICELULARES

Se compone de subfilum o clases de cuyas relaciones filogenéticas no son bien conocidas. Probablemente este filum se disociará en otros varios. El estado unicelular no implica un estrecho parentesco entre los que lo representan. Se divide en Sarcomastigóforos (Flagelados, Rizópodos), Actinópodos, Esporozoos, Microsporidios, Infusorios ciliados.

Grupo de parásitos que viven en estado de plasmodios, conteniendo células germinales ameboides. Esporas pluricelulares.

METAZOOS DIPLOBLÁSTICOS

METAZOOS TRIPLOBLÁSTICOS

Acelomados **[117]**

Celomados

A algunos pequeños grupos sin afinidades marcadas con otras unidades sistemáticas se les concede el valor de filum, pero esta manera de operar en la ignorancia sólo da lugar a imprecisiones. Además, en la enumeración precedente no figuran los «fila» de Nematorhincus, Parartrópodos, Quetognatos y otros grupos representados actualmente por algunos géneros. No han sido citadas sino las principales clases.

REPTILES FÓSILES

Que se insertan más o menos directamente en la ascendencia de los Mamíferos.

Subclase Anápsidos (región temporal sin abertura).

Orden Cotilosaurios (Anápsidos con la región temporal cubierta por dos o tres huesos. Hueso cuadrado visible u oculto. Costilla con una sola cabeza).

Subclase Synápsidos (región temporal perforada por una ventana bordeada en su parte superior por el postorbitario y el escamoso).

Orden Pelicosaurios (ventana temporal pequeña bordeada por arriba por el postorbitario y el escamoso, por abajo por el yugal y el escamoso. Coanas muy anteriores. Un paladar secundario. Mandíbula con un inicio de rama ascendente. Del Carbonífero al Trías inferior).

Suborden Ofiacodontos
Suborden Esfenacodontos
Suborden Edafosaurios

Orden Therápsidos (gran ventana temporal bordeada por arriba por el postorbitario y el escamoso; en las formas más evolucionadas con ventana temporal muy grande, sólo por el parietal); por abajo, el borde o arco temporal está formado por el escamoso y el yugal (arco zigomático). Cuadrado y cuadratoyugal muy reducidos. Un paladar secundario completo en las formas más evolucionadas. Pterigoides soldados en una barra axial.

Suborden Phthinosuquios: Pérmico superior de Rusia.
Suborden Teriodontos

Infraorden *Gorgonopsios* del Pérmico superior al Trías (África del Sur y Rusia)
Infraorden *Cinodontos* del Pérmico superior al Trías.
Infraorden *Tritilondontos* del Trías superior (cosmopolitas) al Jurásico medio.
Infraorden *Terocéfalos* del Pérmico superior.

Infraorden *Bauriamorfos* del Pérmico superior al Trías inferior de África del Sur.
Infraorden Ictidosaurios del Infralías de África del Sur.

Suborden Anomodontos

CLASIFICACIÓN DE MAMÍFEROS

Subclase de no-Terios:

† *Orden Docodontos; Morganucondon*.
† *Orden Triconodontos: Amphilestes* del Tatoniense, *Triconodon* de Purbeckiense de Inglaterra
† *Orden Multituberculados: Plagiaulux*, Purbeckiense. *Ptilodus*, Paleoceno medio y superior de América del Norte. *Taertiolabis*, Paleoceno de América del Norte.

Infraclase Proterios:

Orden Monotremas: Ornithorhynchus, Zalopus, Tachyglossus (todos actuales).

Subclase Terios:

† *Infraclase Pantoterios*:

† *Orden Simetrodontos: Spalacotherium*, Jurásico superior (Inglaterra).
† *Orden Eupantoterios: Amphitherium* Batoniense. *Dryolestes*.

Infraclase Metaterios:

Orden Marsupiales: Zarigüeña, *Marmosa*, Koala, Canguros… del Cretácico superior a nuestros días.

Infraclase Euterios:

Superorden Carnívoros

Orden Creodontos †.
Orden Fisípedos (osos, hienas, perros, leones).
Orden Carnívoros Pinnípedos (foca, morsa, otario).
Orden Cetáceos (orcas, marsopas, cachalote, ballena).

Superorden Protongulados:

Orden Condylartros †
Orden Liptoternos †.
Orden Notongulados †
Orden Astrapotherios †
Orden Artiodáctilos (Suiformes y Rumiantes).
Orden Tubulidentados (*Orycteropus*).
Orden Proboscídeos (Mastodonte, elefante).
Orden Hiracoideos (Procavia).
Orden Embritópodos †
Orden Pantodontos †
Orden Dinocerados †
Orden Piroterios †
Orden Xenungulados †
Orden Sirénidos (Manatí, Dugongo).
Orden Perisodáctilos (Rinocerontes, Tapires, Caballos).
Orden Teriodontos †
Orden Tilodontos †
Orden Xenartros (hormigueros, peludos, perezosos).
Orden Pholidotos (Pangolines).
Orden Lagomorfos (liebres, conejos).
Orden Roedores (castor, marmota, rata, topillo…).
Orden Insectívoros (musarañas, topos).
Orden Dermópteros (Galeopiteco).
Orden Quirópteros (Murciélago).
Orden Primates:

Suborden Tarsioideos
Suborden Lemuroideos
Suborden Simioideos
Suborden Hominoideos

NOTA A LA REVISIÓN DEL APÉNDICE

Por interés en aproximar la clasificación ofrecida por el autor a la de Hyman, ampliamente aceptada, y por clarificar de algún modo los rangos atribuidos por los dos autores a los respectivos grupos, hemos utilizado el taxón filum en la clasificación de Grassé como patrón comparativo. Así, en el grupo de UNICELULARES de Grassé, mantenemos filum Protozoos y filum Mixosporidios, si bien este último no aparece como tal en las sistemáticas consultadas y figura en la de Hyman como clase perteneciente al subfilum Cnidosporidios. Por consiguiente, debe considerarse el rango taxonómico atribuido como aproximativo, dado que el propio autor atribuye el mismo a todos los grupos que cita, que como se verá en las notas, no siempre corresponde al de otras clasificaciones.

En relación con los Metazoos, denominados diplo y triploblásticos por el autor, existen también divergencias en cuanto a los rangos atribuidos a los grupos por el citado en otras sistemáticas. Así, siguiendo la de Hyman, los Poríferos tienen, en efecto, rango de filum, pero dentro de la Rama Parazoos del Subreino Metazoos, mientras que los Cnidarios y los Ctenóforos pertenecerían a la Rama Eumetazoos, grado Radiados con categoría también de filum.

Del mismo modo, en los Metazoos triploblásticos, tanto los Platelmintos como los Nemertinos tienen rango de filum, pero dentro del Superfilum Acelomados, mientras que los Rotíferos comparten este mismo rango dentro del superfilum de los Asquelmintos. En cuanto a los Celomados, los Anélidos y los Artrópodos pertenecerían al Superfilum Articulado; los Lofoforianos constituirían un superfilum, y así sucesivamente.

Existen, desde luego, otras sistemáticas que atribuyen otros rangos diferentes a los grupos aquí citados, pero al ser la de Hyman una de las más generalmente reconocidas en la actualidad y estar en relativa consonancia (al menos a niveles de filum) la hemos utilizado como referencia, a pesar de las divergencias citadas.

Por otra parte, la clasificación de los Reptiles fósiles parece corresponder a la de Romer (1971) utilizada por B. Meléndez,

Paleontología, si bien el infraorden Titanosuquios no figura dentro del suborden Teriodontos.

En cuanto a los Mamíferos, la única diferencia con la clasificación de Kowalski aparece en las subclases

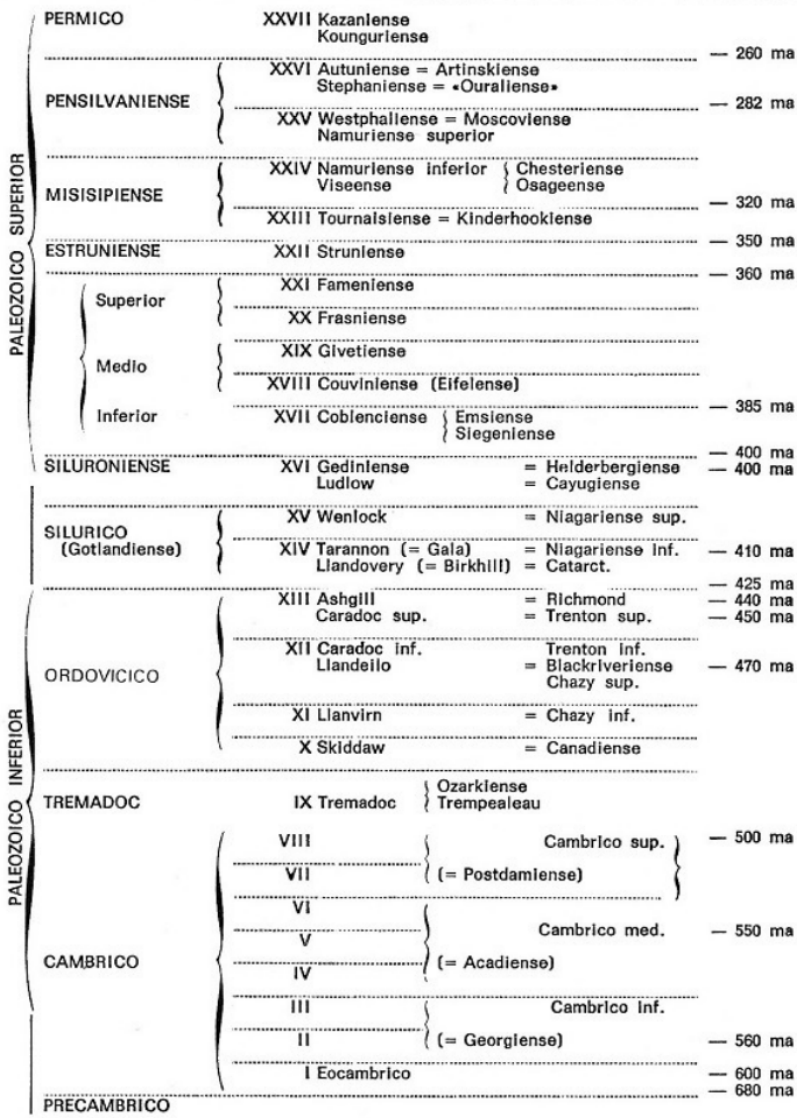
No-Therios

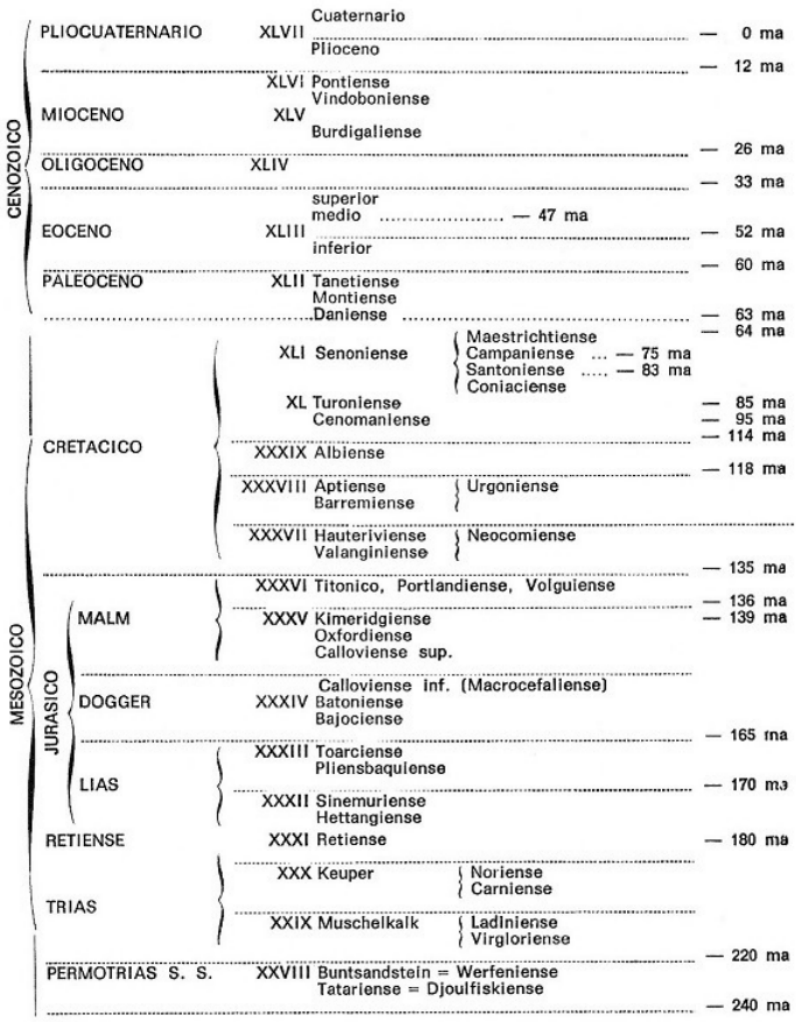
propuesta por Grassé, y que para el primero es la Subclase Prototheria, mientras que para el autor, los Prototerios constituyen una infraclase dentro de ésta. Igual sucede con la sistemática de Remane, Storch y Welsch, si bien estos últimos excluyen a los Eupantoterios de la subclase Terios, etc.

En la sistemática de Kowalsky, los órdenes se corresponden en general, pero están divididos en dos cohortes y no en los superórdenes que propone Grassé.

II

Cronología de la tierra, con indicación de eras y épocas geológicas





ma = millón de años.

Paleozoico = Era primaria; Mesozoico = Era secundaria; Cenozoico = Era terciaria.

Según H. y G. Termier.

Para estas cuestiones, recomendamos la consulta de la siguiente bibliografía:

BELLAIRS, A., y ATTRIDGE, J., *Los Reptiles*. Hermann Blume Ediciones, Madrid.

BUCHSBAUM, R., *Los invertebrados*, Seix Barral, Barcelona.

GARMS, H., y EIGENER, W., *Plantas y animales de España y Europa*. Eunsa, Pamplona.

GRASSÉ, P. P., *Tratado de Zoología*. Toray-Masson, Barcelona.

HARO VERA, A. DE, *Atlas de Zoología (Invertebrados)*. Jover, Barcelona.

KOWALSKI, K., *Mamíferos. Manual de Teriología*. Hermann Blume Ediciones, Madrid.

MEGLITSCH, P. A., *Zoología de Invertebrados*, 3.a ed., Hermann Blume Ediciones, Madrid.

MELÉNDEZ, B., *Paleontología* (vols. I y II), Paraninfo, Madrid.

ORR, R. T., *Biología de los Vertebrados*, 2.a ed., Interamericana, México.

REMANE, A.; STORCH, V., WELSCH, E., *Zoología sistemática*. Omega, Barcelona.

ROMER, M. S., *La evolución animal*. Destino, Barcelona.

SLEIGH, M., *Biología de los Protozoos*. Hermann Blume Ediciones, Madrid.

WELLS, M., *Animales inferiores*. Guadarrama, Madrid.

Aunque con el deseo de ser leídos y comprendidos por no especialistas, no hemos conseguido eliminar de nuestro texto todos los términos técnicos. La exposición de algunos temas exige un lenguaje apropiado que hemos simplificado en la medida en que era compatible con la presentación exacta de los hechos.

No hemos empleado la mayor parte de los términos forjados por algunos evolucionistas, porque nos han parecido inútiles y abusivos. ¿Por qué llamar dendrograma a un árbol genealógico, *ciclomorfosis* a su ciclo estacional, *checklist* a un catálogo, etc? Evidentemente, estos neologismos dan impresión de novedad y sabiduría; en realidad, no aportan nada, son superfluos e incluso estorban.

Este glosario permitirá al lector no detenerse por culpa de los términos técnicos y le indicará el sentido preciso que el autor les concede.

Actinomicina: Antibiótico extraído de una bacteria del grupo de los Actinomicetos.

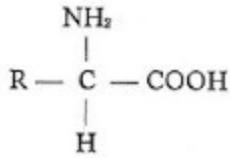
ADN: Siglas del ácido desoxirribonucleico, sustancia portadora de la información hereditaria (código genético): constituyente principal de los cromosomas. Es un polímero de núcleotidos que resultan de la esterificación por una molécula de ácido fosfórico de un heterósido llamado nucleótido que procede de la combinación de una base nitrogenada heterocíclica de la serie púrica o pirimidínica con un azúcar en C_5, la desoxirribosa. Los núcleotidos asociados tienen una composición que varía de uno a otro en sus bases.

ADN polimerasa: Enzima que cataliza la formación de ADN a partir del desoxirribonuleósido-5' trifosfato utilizando ADN como matriz.

Alelo: Una u otra de las formas de un gen que ocupa un lugar definido o *locus*, en un par de cromosomas homólogos. El alelo es el producto de una mutación génica.

Alelomorfo: Una de las formas de un gen situado en el cromosoma homólogo, sometida a la alternancia en la distribución mendeliana (*Bateson*, 1902).

Aminoácido: Sustancia con función ácida constituyente de las proteínas. Todos tienen la misma estructura fundamental y difieren por su radical (R). Se han enumerado 29, de los que 20 son los componentes siempre presentes en las proteínas de todos los seres vivos.



Angström: Unidad de longitud igual a la diezmilésima de la micra (μ), es decir, a la millonésima de milímetro.

Aparato de Golgi: Orgánulo celular constituido por elementos separados o dictiosomas, formado por un apilamiento de sáculos aplanados, que producen en sus bordes vesículas que caen en el citoplasma que les rodea; interviene en diversos mecanismos químicos de la célula; falta en las Esquizofitas y en algunos Protozoos.

Apodia: Estado de un Vertebrado tetrápodo privado de miembros.

ARN mensajero (*mRNA o ARNm*): ARN que sirve de matriz en la síntesis de las proteínas y de intermediario entre el ADN y los ribosomas. Existen otros dos ARN: el ARN transferente y el ARN ribosómico.

ARN polimerasa: Enzima que cataliza la formación del ARN a partir del ribonucleósido-5' trifosfato, utilizando el ADN como matriz.

ATP: Sigla de la adenosina trifosfato compuesta por una molécula de adenina (base nitrogenada de la serie púrica), una molécula de un azúcar (la ribosa) y tres moléculas de ácido fosfórico. El ATP es hidrolizado por la enzima adenosindifosfatasa y se convierte en adenosina difosfato (ADP) liberando un grupo fosforilo y energía, que se utiliza para las reacciones químicas o para el trabajo muscular.

Autorradiografía: Procedimiento que consiste en colocar una emulsión fotográfica en contacto con una materia radiactiva,

generalmente un delgado corte de órgano o tejido. La radiación libera granos de plata que aparecen en negro en el emplazamiento de los componentes radiactivos y, por su disposición, reproducen las formas.

Axón o cilindroeje: Prolongación cilíndrica y larga, rodeada o no de una vaina con enclaves lipídicos (mielina) que parte de la célula nerviosa o neurona. El conjunto axón y vaina forman la fibra nerviosa.

β-galactosidasa: Enzima que cataliza la hidrólisis de la lactosa en glucosa y galactosa.

Bacteriófago: Grupo de virus, parásitos obligados de las Bacterias. Se presentan bajo tres estados: el *virión*, partícula infecciosa libre; el *fago vegetativo*, que se multiplica en su huésped, y el *profago*, que está compuesto de ADN elaborado a partir del ARN del virus y va fijado sobre el cromosoma (ADN) de la bacteria. Estos tres estados tienen en común el mismo ácido nucleico específico.

Blastómero: Célula procedente de las primeras divisiones del ser.

Célula luteínica: Célula del cuerpo amarillo del ovario que contiene grasas coloreadas de amarillo y una hormona llamada luteína o *progesterona* que en los Mamíferos determina las modificaciones del útero que preparan y hacen posible la gestación.

Chert: Término inglés impreciso que designa rocas compactas formadas de calcedonia y de cuarzo microcristalino.

Ciclo de Krebs o del ácido cítrico: Este ciclo, que interviene en la respiración celular, tiene lugar en las mitocondrias. Utiliza la glucosa y comprende dos grandes etapas; la primera termina en la producción de ácido pirúvico; en la segunda, este ácido, tras una larga cadena de reacciones, da lugar a la formación de cinco moléculas de H_2O y tres de CO_2, con liberación de energía.

Cistrón: Segmento de cromosomas que tiene una actividad genética; se compone de dos o más genes. El cistrón, según algunos biólogos, es la unidad de función génica.

Clímax: Estadio terminal y estable de una población vegetal: el bosque de alcornoques es el clímax de la garriga mediterránea;

el bosque ecuatorial llamado primario es el clímax de las poblaciones arbóreas de las regiones ecuatoriales. El término clímax se aplica también a las poblaciones animales situadas en condiciones de medio estable.

Código genético: Conjunto de codones contenidos en el ADN, tanto cromosómico como mitocondrial, y que determina los caracteres morfológicos, fisiológicos y etológicos de los seres vivos.

Codón: Secuencia de tres nucleótidos sucesivos que constituyen el código de un aminoácido o de un final de cadena.

Coeficiente de selección: Si en una población dada se designa por w el valor de adaptación de un gen dominante A; estableciendo w de $AA = 1$, w de $Aa = 1$, w de $aa = 1$-s, s es el coeficiente de selección.

Creatina: Sinónimo de ácido metilguanidinacético; aparece en el músculo en forma de creatinina (sal interna de la creatina). Es un producto de la degradación de las proteínas y es excretado en la orina.

Cromosoma: Orgánulo portador de una cadena de ADN contenido en el núcleo. El número de cromosomas es fijo ($2n$) para una especie dada. En las plantas superiores y los animales pluricelulares están representados en doble ejemplar (cromosomas homólogos) (n cromosomas de origen materno, n de origen paterno). Término creado en 1888 por Waldeyer.

Cromosomas homólogos: Cromosomas que se aparean (los genes de un mismo par lo hacen lado a lado), y que llevan los mismos genes, dispuesto según el mismo orden.

Cromosoma X, Cromosoma Y o *heterocromosomas*: Cromosomas que determinan el sexo. XX hembra, XY macho, en el caso del hombre y de la drosófila.

Cuerpos callosos: Centros nerviosos situados en la región basal del

cerebro, en el seno de las capas ópticas y en relación, los externos con los brazos de los Tubérculos cuadrigéminos anteriores, los internos con los brazos de los tubérculos cuadrigéminos posteriores. El cuerpo calloso externo (uno de cada lado) recibe un 80 por 100 de fibras visuales, el otro 20 por 100 de fibras las recibe el *pulvinar*, centro situado en el tálamo, procedente del diencéfalo embrionario.

Dientes yugales: Premolares y molares, dientes que por su situación están en relación con la cara interna de los pómulos y de ahí su nombre.

Diploblásticos: Animales pluricelulares que sólo poseen dos hojas embrionarias (ectodermo y endodermo); comprenden los Espongiarios, los Cnidarios y los Ctenóforos.

Ecomorfosis: Modificación corporal o funcional ligada a un cambio de medio.

Efecto de posición: Diferencia de efecto de un gen debido a la posición que ocupa sobre un cromosoma dado.

Endemismo: Confinamiento de algunas especies vegetales o animales en un área delimitada geográficamente. El *neoendemismo* concierne a las especies formadas en el mismo lugar que habitan actualmente, después de su aislamiento (caso de los pinzones de las islas Galápagos). El *paleoendemismo* se refiere a especies reliquias, vestigios de grupos prósperos en otras épocas, que se mantienen en asilos (oso de Hatteria**(e59)** presente sólo en los islotes neozelandeses).

Endomitosis: Multiplicación de cromosomas en el interior del núcleo sin que siga una división celular. La poliploidización de la célula (multiplicación de *n* o *2n* cromosomas) se opera casi siempre por endomitosis.

Enzima o diastasa: Molécula de proteína capaz de catalizar una reacción química determinada y que aparece intacta al final de la reacción.

Episoma: Partícula de valor genético observada en las Bacterias, fuera del cromosoma normal o en él, y que no tiene por origen una mutación de la Bacteria, sino que procede del exterior. El

factor F+, que interviene en la sexualidad del Colibacilo, y el ADN del Bacteriófago son ejemplos.

Ergastoplasma: Orgánulo celular compuesto de vesículas de forma generalmente plana y muy irregular; interviene en numerosas síntesis. A menudo asociado a los ribosomas.

Especies crípticas: Especies aparentemente idénticas, pero que no se reproducen entre sí. Difieren en sus costumbres o, más frecuentemente, en el número o la conformación de sus cromosomas.

Especies (o grupos) pancrónicas: Especies o grupos de origen antiguo o muy antiguo y que se perpetúan sin cambios notables.

Factor letal: Factor (gen u otra cosa) que hace inviable un organismo.

Fago: Abreviatura corriente del término *bacteriófago*.

Fenotipo: Conjunto de caracteres que manifiesta un ser vivo resultantes de la interacción entre los genes y el medio.

Fetalización: Teoría cuyo principal autor es el anatomista holandés Bolk y que sostiene que la evolución se realiza por el mantenimiento de los caracteres fetales en el adulto; forzando la tesis, se ha dicho que el hombre es un feto de mono que ha llegado a ser apto para reproducirse.

Fibroblastos: Célula fusiforme perteneciente al tejido conjuntivo del embrión. En cultivos de tejidos, algunas células se modifican, pierden en parte sus atributos y toman forma de huso; por ejemplo, los fibroblastos en cultivos procedentes del corazón de embrión de pollo.

Fosfágeno: Nombre dado por EGGELTON (1927) a compuestos fosforados de la creatina: fosfocreatina o fosforilcreatina, adenosín trifosfato (ATP), que existen en el músculo y otros órganos, donde juegan un papel muy importante al descomponerse liberando una molécula de ácido fosfórico y energía. Intervienen en el quimismo de la contracción muscular.

Fosofocreatina: Ver *fosfágeno* y *creatina*.

Galáctosido: Derivado de la galactosa. La galactosa es un isómero estereoquímico de la glucosa. No existe en estado libre en los

seres vivos.

Gameto: Célula germinal, óvulo o espermatozoide; la conjunción del óvulo y del espermatozoide es el fenómeno de la fecundación tras el cual el huevo se segmenta y se forma el embrión.

Gen: Unidad hereditaria, es decir, un segmento de la macromolécula de ADN que determina todo o parte de un carácter anatómico, funcional o etológico. Lo lleva un cromosoma y goza de la facultad de reproducirse en cada división celular (replicación). En los fenómenos de la herencia y de la mutación interviene a modo de unidad independiente (ver *cistrón*).

Gen regulador: Gen que controla la síntesis de los productos de otro o de otros varios genes.

Gen supresor: Gen que invierte o anula la acción de uno o varios genes.

Genoma: Conjunto de cromosomas de un gameto. Corresponde al número haploide *n*.

Genotipo: Conjunto de genes que contiene un organismo y del que dependen sus propiedades hereditarias (Johannsen, 1911).

Glándula apocrina: Glándula caracterizada por un modo de secreción intermedio entre los definidos más abajo (glándula holocrina, glándula mesocrina). El producto de secreción se acumula en el polo apical de la célula y pasa a la cavidad de la glándula. Las glándulas sudoríparas de las axilas pertenecen a este tipo.

Glándula holocrina: Glándula en la que el producto de secreción llena sus células, que degeneran y liberan la sustancia elaborada. El *surtidor celular* es un caso de secreción holocrina. Ejemplo: glándulas sebáceas.

Glándula mesocrina: Glándula en la que el producto de secreción se acumula en el citoplasma de las células que constituyen la glándula; es expulsado con o sin rotura del polo apical y la célula vuelve a comenzar su ciclo secretor.

Globina: Proteína rica en histidina y lisina que entra a menudo en

combinación con un compuesto que contiene hierro (protohemo en el caso de la hemoglobina).

Gradiente: Reparto espacial de una sustancia o de una propiedad en un huevo, en un organismo o en un órgano a partir de un valor máximo (cabeza del gradiente) y que disminuye regularmente hasta un valor mínimo. El gradiente se escalona de un lado y otro del eje principal del ser o del órgano considerado. La superficie de distribución de la sustancia o de la propiedad constituye un *campo-gradiente*. En el huevo, los gradientes se establecen con relación al eje que une el polo animal al polo vegetativo.

H_3 o tritio: Isótopo radiactivo del hidrógeno; período de semidesintegración, 12,5 años; emisor de radiaciones. Muy utilizado como «marcador» para seguir el recorrido de las sustancias que lo contienen en el seno del organismo.

Heterozigoto: Zigoto o huevo formado por la unión de gametos que no llevan exactamente los mismos genes (Bateson, 1902).

Hipertelia: (*hiper*, por encima; *telos*, objetivo, fin). Estado excesivo de un órgano o de una función que sitúa al ser que lo sufre en condiciones desfavorables para sí mismo o para su progenie.

Homozigoto: Zigoto o huevo formado por la unión de gametos que llevan los mismos genes (BATESON, 1902). Teóricamente, el individuo de raza pura debe ser homozigótico.

Imaginal: Que se refiere al insecto perfecto o imago.

Incus: Sinónimo de yunque, huesecillo del oído medio de los Mamíferos.

Letalidad: Condición que engendra la muerte. Un *gen letal* es el que sitúa a su portador en un estado patológico. En doble dosis (un gen letal de origen materno y el otro paterno), para la misma pareja de genes o de alelos, es mortal.

Ligasa: Enzima que cataliza la formación de un enlace fosfórico entre la extremidad libre

5'-fosfato

de un oligo o polinucleótido y el grupo

3'-OH

de otro oligo o polinucleótido situado en la vecindad inmediata.

Lisosomas: Corpúsculos vesiculares dispersos en el citoplasma, limitados por una membrana lipoproteica y que contienen, en reserva, enzimas dotados generalmente de propiedades líticas. La digestión de la membrana libera a la enzima.

Malleus: Sinónimo de martillo, huesecillo del oído medio de los Mamíferos.

Mecanismo regulador: Mecanismo cuya acción tiene por efecto restablecer y mantener el estado normal del ser viviente cuando éste se modifica; la regulación puede ser de orden morfológico o químico. Concierne a todas las actividades del ser vivo, comprendido el comportamiento.

Meiosis: Forma de mitosis en el curso de la cual la dotación cromosómica (*2n*) no duplica su número y por consiguiente cada célula recibe sólo *n* cromosomas (FARMER y MOORE, 1905).

Metabolito: Sustancia que interviene en el quimismo de la célula y de origen alimentario directo o indirecto.

Mitocondrias: Orgánulos celulares dispersos en el citoplasma, portadores de enzimas, de adenosina trifosfato (ATP) y de ADN. Juegan diversos papeles sobre todo en la transferencia de energía gracias a su ATP. Las mitocondrias tienen dimensiones del orden de la miera, pero pueden ser mucho más largas: en forma de nave, bastoncito… (BENDA, 1897).

Mitosis o división celular indirecta: Proceso por el que la célula se divide en dos y en el curso del cual el número de cromosomas se duplica. Cada célula hija recibe una guarnición cromosómica *2n* (FLEMMING, 1882).

Molar tribosfénico: Molar de Mamífero originariamente con tres tubérculos, después con cinco, que en el momento de la oclusión, se engranan con sus antagonistas o se oponen a ellos y a la vez trituran y cortan los alimentos.

Monodactilia: Estado de un miembro que sólo posee un dedo.

Monofiletismo: Origen de una unidad sistemática (plantas o animales) a partir de una misma fuente. Se opone al polifiletismo.

Mutación: Variación corporal o funcional (repentina) hereditaria. Se distinguen dos clases: las *mutaciones de genes* o *genovariaciones* que tienen por causa una alteración del código genético y las *mutaciones cromosómicas* que resultan de una modificación del orden de los genes (inversión de un segmento, por ejemplo) en un cromosoma o de una variación numérica, en una parte menor o mayor de la dotación cromosómica característica de la especie.

Nucleótido: Unidad que compone los ácidos nucleicos, combinación equimolecular de un ácido fosfórico PO_4H_3 con una base orgánica y un azúcar.

Oncornavirus: Virus cancerígenos cuyo material genético está constituido por el ARN.

Ontogénesis: Formación del ser vivo, desde el huevo hasta la forma adulta. Algunos autores hacen de esta palabra, abusivamente, el sinónimo de formación embrionaria o embriogénesis.

Operador: Gen o conjunto de genes que regulan, directamente o no, la actividad de algún represor, controlando así el funcionamiento del operón adyacente.

Operón: Unidad genética compuesta de genes adyacentes que funcionan de manera coordinada bajo el control conjunto de otros dos genes, el uno operador y el otro represor.

Orgánulo: Formación definida contenida en un Protozoo o en una célula de Metazoo y que tiene el papel de un órgano. Ejemplos: eje esquelético de los Flagelados, aparato de Golgi, mitocondrias…

Ortogénesis: «Evolución cuyos estadios sucesivos, seriados por la cronología geológica, marcan una progresión o una regresión regular, en un sentido que parece predeterminado desde el comienzo: la evolución del pie del caballo y la de la cornamenta de los Cérvidos durante el Terciario son dos tipos de ortogénesis» (definición dada por CUÉNOT, 1946).

Panmixia: Participación en la reproducción de todos los individuos que pertenecen a una misma población con el máximo azar y en ausencia de toda selección.

Pleiotropía: Facultad que posee un gen de afectar a varios caracteres, es decir, a varios aspectos del fenotipo.

Polidactilia: Anomalía que consiste en la aparición de dedos supernumerarios.

Poliploidía: Estado de un organismo que posee más de dos juegos de cromosomas homólogos (triploide, tetraploide, etc.) (WINKLER, 1916).

Polisomia: Anomalía de la dotación cromosómica por la presencia de tres ejemplares o más de un mismo cromosoma. La idiotez mongoloide corresponde a una trisomía (tres ejemplares) del cromosoma 21.

Presión de mutación: Fuerza estadística que, en una población, se ejerce sobre la frecuencia de alelos por la intervención de mutaciones.

Presión de selección: Fuerza estadística que se ejerce sobre las frecuencias alélicas por mediación de la selección natural, es decir, de reproducciones diferenciales eventuales de diversos genotipos. (Esta definición y la precedente las debemos al profesor PH.
L'
HERITIER
).

Proteínas: Sustancias constituidas por una cadena de aminoácidos asociados o no a un grupo químico de naturaleza variada. Son los constituyentes más importantes de los seres vivos.

Pseudópodo: Prolongaciones de formas variadas que lanzan las amebas, los amibocitos y numerosas células libres para moverse o capturar presas vivas o alimentos inertes.

Reducción cromática: Sinónimo de meiosis.

Ribosomas: Partículas dispersas en el citoplasma y compuestas de ARN (ARN ribosómico) y de proteínas. Sede de la síntesis de las proteínas.

Rifampicina: Antibiótico extraído de una Bacteria del grupo de los Actinomicetos, un *Streptomyces*.

Somación: Variación corporal o funcional que afecta al cuerpo o *soma* y que no afecta a las células germinales o *germen*. La somación está ligada a una acción del medio; no es hereditaria (somatización).

Stapes: Sinónimo de estribo, huesecillo del oído medio de los Mamíferos.

Teratología: Rama de la zoología que tiene por objeto el estudio de los monstruos y su génesis.

Timidina: Nucleósido que entra en la composición del ADN y que contiene una base pirimídica, la timina.

Triploblásticos: Se designa con este término a los animales cuyos embriones poseen tres hojas celulares: ectodermo, endodermo y mesodermo.

Virus: Agentes infecciosos, obligatoriamente intracelulares, de pequeño tamaño muy inferior al de una Bacteria; su material genético se compone de un solo ácido nucleico (ADN o ARN) y de una proteína. Ejemplo: virus del mosaico del tabaco, de la poliomielitis, etc.

Viviparismo: Modo de reproducción por el cual el joven se desarrolla dentro del cuerpo de la madre y sale completamente formado (algunos Artrópodos, algunos Anfibios y Reptiles, todos los Mamíferos menos los Monotremas). Zona estriada del lóbulo occipital: El lóbulo occipital está situado en la parte posterior del hemisferio cerebral; sus funciones se refieren sobre todo a la visión. La zona estriada ocupa los dos labios y el fondo de la cisura calcárea**(e60)** (principal pliegue horizontal del lóbulo occipital) así como la vertiente externa del polo occipital. Cada punto de la retina se proyecta sobre un punto correspondiente de la corteza cerebral que constituye localmente una «retina cortical».

Zigoto: Célula formada por la unión de dos gametos de sexo opuesto; el huevo fecundado.

Bibliografía

Los libros, memorias y notas referentes a la evolución se cuentan por decenas de miles. Su mera enumeración exigiría la publicación de múltiples volúmenes de texto. Aquí nos contentaremos con indicar las obras clásicas fundamentales y los trabajos a los que el autor hace alusión directa o indirectamente. Aquellos títulos de obras que contienen una bibliografía extensa, a la cual podrá referirse el lector caso de que desee ampliar sus conocimientos, van precedidos por un asterisco.

Prolegómenos al problema de la evolución

Obras de carácter general:

ALVARADO, R. (1959): «La teoría de la evolución a los cien años de la obra de Darwin». En *Revista de la Universidad de Madrid*, vol. 8,
9-559.

ANTHONY, R. & CUÉNOT, L. (1939): «Enquête sur le problème de l'hérédité
conservatrice; les callosités carpiennes du Phacochère». *Rev. géné. des Sci.*, 50.

BALDWIN, J. M. (1902): *Development and evolution*. New York and London.

BEER, G. R. DE (1933): *Embryologie et évolution*. París.

BEER, G. R. DE (1938): *Evolution, essays on aspects of evolutionary biology presented to Professor E. S. Goodrich*. Oxford, Clarendon Press.

BERG, E. S. (1926): *Nemogenesis or evolution determined by law*.

London, Constable, ed.

BERGSON, H. (1907): *créatrice*
L'évolution
. Paris, Alcan, édit.

BERTALANFFY, L. VON (1948): *Les problèmes de la vie*. Paris, Gallimard, édit.

BERTALANFFY, L. von (1951): *Theoretische Biologie*. 2 vol., 2.a ed. Berna.

BOLK, L. (1926): Das Problem der Menschwerdung. Jena.

CAILLEUX, A. (1950): «Progression géométrique du nombre des espèces». *C. R Soc. Géol. de France*, sesión de 6 de noviembre 1950. — 192. Évolution et a célération du psychisme au cours des temps géologiques. *Ibidem*, sesión del 4 de febrero.

CAULLERY, M. (1931):
L'Évolution
. Paris, Payot, édit.

COLBERT, E. A. (1955): «Evolution of the horned Dinosaurs». *Evolution*, 5,
145-163.

COPE. E. D. (1896): *The primary factors of organic evolution*. Chicago.

DALCQ, A. (1949): «L'apport de
l'embryologie
causale au problème de
l'évolution
». *Portugal Acta Biol.*, ser. A.

DARWIN, CH. (1859): *On the Origin of Species*. Cambridge, Mass. Harvard University Press (1966).

DARWIN, CH. (1872): *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. 2 vols. London. John Murray.

DARWIN, CH. & WALLACE, A. R. (1858): «On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural meant of selection». *Linnean Trans. of the Society of London*, nota comunicada por *sir* Charles

Lyell &
sir Joseph Hooker (leída el 1 de julio de 1858).

DELAGE, Y. (1894): *La structure du cytoplasme et, Année biologique l'hérédité*, 2, 495. Paris.

DELAGE, Y. (1903): *L'hérédité et les grands problèmes de la biologie générale*. 2.a éd. Paris, Schleicher.

DELAGE, Y. & GOLDSMITH, M. (1909): *Les théories de l'évolution*. Paris, Flammarion, édit.

DOBZHANSKY, TH. (1941): *Genetics and origin of species*. New York.

DOBZHANSKY, TH. & BOESIGER, E. (1968): *Essais sur l'évolution*. Paris, Masson, édit. Collection «Les Grands problèmes de la biologie», Monografía núm. 9.

DOLLO, L. (1893): «Les lois de l'évolution». *Bulletin Soc. Belge de Géol.*, 7, 164-167.

DRIESCH, H. (1909): *Philosophie der Organismen*. Berlín.

EIMER, TH. (1897): *Orthogenesis der Schmetterlinge*. Leipzig, Engelmann, ed.

FOX, S. W. (1965): *The origin of prebiological systems and of their molecular matrices*. New York and London, Academic Press.

GAUDRY, A. (1896): *Essai de paléontologie philosophique*. Paris.

GAUSSEN, H. (1937): «Jeunesse et évolution. —*Revue géné. Sci.*; (1942)—. Évolution et retour aux formes ancestrales», *Ibidem*.

GEOFFROY SAINT-HILAIRE, E. (1818): *Philosophie anatomique*. Paris.

GILSON, E. (1971): *D'Aristote à Darwin et retour*. Vrin, édit., Paris.

GOLDSCHMIDT, R (1944): *The material basis of evolution*. New Haven, Yale Univ. Press, 4 a ed.

GOLDSCHMIDT, R. (1952): «Evolution as viewed by on genetist». *Amer. Scientist*, 40,

84-135.

GRASSÉ, P. P. (1943): *faits, expériences, théories*
L'Évolution:
. Centre de documentation universitaire, Paris.

GRASSÉ, P. P. (1959): «Les incertitudes des doctrines évolutionnistes». *Revista de la Universidad de Madrid*, núms. 29-31.

GRASSÉ, P. P. (1966): Chapitre Évolution. In *Précis de Biologie générale*,
753-963.
Paris.

GREENWOOD, TH. (1948): «Le principe de
l'évolution
émergente dans la philosophie anglaise contemporaine». *Études philosophiques*, N. Sér., 3.

GURWITSCH, A. (1914): «On practical vitalism». *Amer. Naturalist*, 49.

GURWITSCH, A. (1915): «Ueber die nichtmaterielle Faktoren embryonaler Formgestaltung», Festchrift für Schwalbe.

GUYE, C. E. (1942): *physico-chimique*
L'évolution
. 2.a ed. Paris, Hermann et Cie, édit.

GUYÉNOT, E. (1939): «La véritable pensée de Lamarck et le transformisme contemporain». *Scientia*, vol. 66.

HAECKEL, E. (1866): *Generelle Morphologie der Organismen*.
Tomos I & II.
Berlín.

HAECKEL, E. (1874): *Histoire de la création naturelle*. Paris, Reinwald, édit.

HALDANE, J. B. S. (1924): «A mathematical theory of natural and artificial selection». *Trans. Cambridge Philos. Soc*. 23,
19-41.

HALDANE, J. B. S. (1932): *The causes of evolution*. New York and London.

HALDANE, J. B. S. (1955): «The measurement of natural selection». *Atti 9, Cong. Intern. Génétic et Caryologia*. Florence, suppl. 480-487.

HALDANE, J. B. S. (1958): «The theory of evolution, before and after Bateson». *Journ. of Genet.*, 56, 11-27.

HAWKES, J. G. (1968): *Chemotaxonomy and serotaxonomy*. Symposium held at Birmingham University. 15-16 september, 1967. Acad. Press., London. New York.

HOVASSE, R. (1943): *à par la sélection De l'adaptation l'évolution* . París, Hermann, édit.

HOVASSE, R. (1950): *Adaptation et évolution*. Paris, Hermann, édit.

HUXLEY, J. (1942): *Evolution, the modern synthesis*. London

HUXLEY, J. (1953): *Evolution in action*, London, Chatto and Windus ed.

JEANNEL, R. (1942): *La genèse des faunes terrestres*. Paris, P. U. F.

JEANNEL, R. (1950): *La marche de l'évolution* . Paris, édit. du Muséum, 171 p.

JESCHIKOV, J. J. (1937): «Zur Rekapitulationslehre». *Biología generalis*, 13, 67-100.

LAMARCK, J. B. MONNET DE (1809): *Philosophie zoologique* (éd. de 1873).

LEBEDKIN, S. (1937): «The recapitulation problem. I and II». *Biologia generalis*, 13, 391-417; 516-594.

LEHMAN, J. P. (1973): *Les preuves paléontologiques de l'évolution*

. París, P. U. F.

LE ROY, E. (1927): *L'exigence idéaliste et le fait de l'évolution*. Paris.

MATVEIEFF, B. S. (1932): «Zur Theorie der Rekapitulation. Ueber die Evolution der Schuppen, Federn und Haare auf dem Wege embryonaler Veränderungen». *Zoologisches Jahrbuch, Abteilung Anatomie*, 55, 555-580.

MAYR, E. (1963): *Animal species and evolution*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

MAYR, E. (1969): *Principles of Systematic Zoology*. McGraw-Hill book company, New York, 428 p.

MAZENOT, G. (1940): «La "loi" d'accélération phylogénétique ou de la précession des caractères (loi de A. Pavlov)». *Bull. Soc. Linnéenne de Lyon*. Núms. 1, 2, 3, p. 1956.

MEYER, F. (1954): *La problématique de l'évolution*. Paris, Presses universitaires françaises.

MORGAN, C. LLOYD (1927): *Emergent evolution. The Gifford Lectures*, 1922. New York, H. Holt and Ca ed.

MORGAN, T. H. (1932): *The scientific basis of evolution*. New York, Norton and Ca ed.

NEUVILLE, H. (1927): «De certains caractères de la forme humaine et de leurs causes». *Anthropologie*, 37, 305-328.

OSBORN, H. F. (1921): *et de la vie*
L'origine
l'évolution
. Masson, édit.

PELSENEER, P. (1941): «La conception lamarckienne de

l'évolution
». *Bull. Soc. Roy. Sci.* Liége, 10.

RENSCH, B. (1959): *Evolution above the species level*. London, Methuen, ed.

ROSA, D. (1931): *L'ologenèse. Une nouvelle théorie de l'évolution*. Paris, Payot, édit.

SCHINDEWOLF, O. H. (1950): *Grundfragen der Paläontologie*. Stuttgart.

SEWERTZOFF, A. N. (1931): *Morphologische Gesetzmässigkeiten der Evolution*. Jena, Gustav Fischer.

SIMPSON, G. G. (1944): *Tempo and mode in evolution*. New York, Columbia Univ. Press.

STRICKBERGER, M. W. (1968): *Genetics*. New York, MacMillan, 868 p.

TEILHARD DE CHARDIN, P. (1957): «Les fondements et le fond de l'idée d'évolution». In *La visión du Passé*. Paris.

VANDEL, A. (1958): *L'Homme et l'évolution* 2.a éd., Paris, Gallimard, édit.

VANDEL, A. (1968): *La Genèse du vivant*. Collection «Les Grands Problèmes de la biologie», Monografía, núm. 6, Paris, Masson, édit.

VIALLETON, L. (1908): *Un problème de l'évolution*. Montpellier, Coulet, édit.

WALLACE, A. R. (1891): *Le darwinisme, exposé de la théorie de la sélection naturelle avec quelques-unes de ses applications*. Traduction de H. DE VARIGNY. 1891, París, 674 p.

WRIGHT, SEWALL (1969): *Evolution and the genetics of population*.

Chicago, Univ. Press, 3 vol.

Grandes tratados y textos de consulta

BOUREAU, E. (1964): *Traité de paléobotanique*. 9 vols. Paris, Masson, édit.

CHADEFAUD, M. & EMBERGER, L (1960): *Traité de botanique systématique*. 3 vol. Paris, Masson, édit.

GRASSÉ, P. P.
(1948-1972):
Traité de Zoologie, Directeur P. P. GRASSÉ. Paris, Masson, édit.

MOORE, R. C. (1953): *Treatise of invertebrate Paleontology*. Geol. Soc. of America. Univ. of Kansas Press.

PIVETEAU, J. (1952-1966): *Traité de paléontologie*. T. I à VII (10 vol.). Paris, Masson, édit.

Capítulo 1

De lo simple a lo complejo

BARGHOORN, E. S. (1971): «The oldest fossils». *Scientific American*, 224, núm. 5,
30-42.

BARGHOORN, E. S. & SCHOPF, J. W. (1966): «Microorganisms three billion years old from the precambrian of South Africa». *Science*, 152,
758-763.

BARGHOORN, E. S. & TYLER, S. A. (1965): «Microorganisms from the Gunflint Chert». *Science*, 147,
563-577.

DAUVILLIER, A. (1958): *photochimique de la vie*
L'origine
. Paris, Masson, édit.

DAUVILLIER, A. & DESQUIN, E. (1942): *La genèse de la vie, phase de*

géochimique
l'évolution
. Paris, Hermann et Cie, édit.

DELAMARE-DEBOUTTEVILLE,
C. & M
ASSOUD, Z. (1969): «Un groupe panchronique: les Collemboles. Essai critique sur *Rhyniella praecursor». Annales Soc. Entomologique de France* (N. S. 3, 3,
625-629).

GRASSÉ, P. P. (1952): Embranchement des Protozoaires. Rapports systématiques et affinités. En *Traité de Zoologie*, t. I, fasc. 1, p. 39-52.

GRASSÉ, P. P. (1969): Les Protozoaires
sont-ils
les ancêtres des Métazoaires? En *1.er Simposio internacional de Zoofilogenia*. Salamanca Universidad, p. 64 a 92.

GUIBÉ, J. (1970): La réduction des membres chez les Reptiles. En *Traité de Zoologie*. Direct. P. P. GRASSÉ, t. XIV, fase 2,
194-201.

HAECKEL, E. (1877): *Les preuves du transformisme*, réponse à Virchow. Traducción de J. Soury, 2.a ed., París, Baillière 1882.

JEFFERIES, R. P. S. (1968): «The subphylum Calcichordata (Jefferies, 1967), primitive fossile Chordates with Echinoderm affinites». *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist.* (Geol.), 16,
243-339.

JEFFERIES, R. P. S. & PROKOP, R. J. (1972): «A new Calcichordate from the Ordovician of Bohemia and its anatomy, adaptations and relationships». *Biological Journal, Linnean Soc. of London*, 4,
69-115.

LWOFF, A. (1943): *L'évolution physiologique*, Paris, Hermann, édit.

OPARIN, A. I. (1965): *El origen de la vida sobre la Tierra*. Editorial Curie, Buenos Aires.

RAYNAUD, A. (1963): «La formation et la régression des ébauches des membres de

l'embryon
d'Orvet
(*Anguis fragilis*)». *Bull. Soc. Zool. France*, 97,
469-485.

RAYNAUD, A. (1972): «Morphogenèse des membres rudimentaires chez les Reptiles: un problème
d'embryologie
et
d'évolution».
Bull Soc. Zool. France, 97,
469-485.

SAINT-SEINE, P. (1951): «Les fossiles au rendez-vous du calcul». *Congrès international de la Philosophie des Sciences*;
75-84.

SCHOPF, J. W. (1970): «Precambrian microorganisms and evolutionary events prior to the origin of vascular plants». *Biological Review*, 45,
319-352.

THOMAS, A. (1967): *Colloque sur les systèmes biologiques élémentaires et la biogenèse*. Paris, Masson, édit.

UBAGHS, G. (1971): «Diversité et spécialisation des plus anciens Échinodermes que
l'on
connaisse». *Biological Reviews*, 46,
157-200.

WEST, M. W. & PONNAMPERUMA, C. (1970): «Chemical evolution and the origin of life». *Space Life Sci.*, 2,
225-295.

WETTSTEIN, D. VON (1957): «Genetics and the sub-microscopic cytology of plastids». *Hereditas*, 43,
303-317.

Capítulo 2

BARGHUSEN, H. R. (1968): «The lower jaw of Cynodonts (Reptilia, Therapsida) and the evolutionary origin of mammal-like adductor jaw musculature». *Postilla* (Peabody Mus. Nat. Hist. Yale Univ.), 116,
1-49.

CROMPTON, A. W. (1963): «On the lower jaw of *Diarthrognathus* and the origin of the mammalian lower jaw». *Proceed. Zool. Soc. London*, 140,
697-753.

CROMPTON, A. W. & JENKINS, F. A. (1968): «Molar occlusion in Late Triassic Mammals». *Biol. Rev.*, 43,
427-458.

DAVIES, R. E., AUSTIN,
W. A. & L
OGANI, M. K., 1971: «The rhino mutant mouse as an experimental tool». *Transactions of the New York Academy*, Ser. III, 33,
680-693.

DEVILLERS, CH. (1961): «Ictidosauria (p. 192-223) et origine de
l'oreille
moyenne des Mammifères» (p. 371-407). *Traité de Paléontologie*. J. PIVETEAU, direct., t. VI, vol. 1. Paris, Masson, édit.

EDINGER, T. (1948): «Evolution of the horse brain». *Mem. geol. Soc. America*, 25.

FOURIE, S. (1968): *The jaw articulation of* Tritylodontoideus maximus. S. Afr. Journ. Sci., 59,
211-213.

GINSBURG, L. (1970): «Les Reptiles fossiles», in *Traité de Zoologie*. Direct. P. P. GRASSÉ, t. XIV, fase. 3,
1188-568.

GOLDSCHMIDT, R. (1944): «Cryptic bobbed alleles in *Drosophila melanogaster*». *American Naturalist*, 78,

564-568.

HAECKEL, E. (1866): *Generelle Morphologie der Organismen*. 2 vol. Berlin, Verlag von Georg Reimer.

HOPSON, J. A. (1971): «Postcanine replacement in the gomphodont cynodont *Diademodon. Early Mammals», Zool. Journ. Linn. Soc., London*, 50,
1-21.

HOPSON, J. A. & CROMPTON, A. W. (1969): «The origin of Mammals». *Evolutionary Biology*, 3,
15-72.
Holland Publishing Company, Amsterdam.

HOWARD, A. (1940): «"Rhino", an allele of hairless in the house mouse». *J. Heredity*, 31,
467-470.

HOWELL, A. B. (1937): «Morphogenesis of shoulder architecture». Part V. Monotremata. *Quarterly Review of Biology* 12,
191-205.

JARWICK, E. (1960): *Théories de des Vertébrés l'évolution*
, Paris, Masson, édit.

KERMACK, K. A. (1967): «The interrelations of early mammals». *J. linn. Soc. (Zool)*, London, 47,
241-249.

KERMACK, D. M. & KERMACK, K. A. (1971): *Early Mammals* (con artículos de K. A. KERMACK, KREBS, G. G. SIMPSON…), Linnean Soc. of London. Academic Press.

KERMACK, K. A. & KIELAN-JAWOROWSKA, Z. (1971): *Therian and non Therian Mammals* Véase KERMACK, D. M., y KERMACK, K. A.

KREBS, B. (1971): «Evolution of the mandible and lower dentition in dryolestids». (Pantotheria, Mammalia). *Early Mammals, Zool. journ. Linnean*. Soc. London, 50,
89-102.

KÜNE, W. G. (1956): *The Liassic Therapsid Oligokyphus*. London, British Museum, ed.

KÜNE, W. G. (1958): «Rhaetische Triconodonten aus Glamorgan, ihre Stellung zwischen den Klassen Reptilia und Mammalia und ihre Bedeutung für die
Reichert'sche
Theorie». *Paläontologische Zeitung*, 32,
197-235.

LEHMAN, J. P. (1959): *des Vertébrés inférieurs. Quelques problèmes L'évolution*
. Monographies Dunod, Paris.

MANN, S. J. (1971): «Hair loss and cyst formation in hairless and rhino mutant mice». *Anatomical Record*, 170,
485-500.

MASSOUD, Z. (1967): «Contribution à
l'étude
de *Rhyniella praecursor*, Collembole fossile du Dévonien». *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 4,
497-505.

MAYR, E. (1963): *Animal species and evolution*. The Belknap Press, Harvard University Press, Cambridge, Mas.,
797 p.

MENDREZ, C. (1972): «Premières ébauches
d'un
palais secondaire osseux chez les Reptiles mammaliens», *C. R. Acad. Sciences*, 274,
2960-2961.

MILLS, J. R. E. (1971): The dentition of *Morganucodon* in Early Mammals, ed. D.
M. y K.
A. KERMACK. *Zool. Jour. Linnean Soc, London*, 50,
29-63.

OLSON, E. C. (1944): «Origin of mammal based on the cranial of therapsid suborders». *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, 5,
1-136.

OLSON, E. C. (1959): «The evolution of mammalian characters».

Evolutions, 13,
344-353.

OSBORN, H. F. (1936): *Proboscidee. A monograph of the discovery, evolution, migration and extinction of the Mastodonts and the Elephants of the world*. Vol.
I & II.
American Museum of Natural History, New York.

RICQLÈS, A. de (1972 a): «Vers une histoire de la physiologie thermique. Les donnés histologiques et leur interprétation fonctionnelle». *C. R. Acad Sci*., Paris, 275,
1745-1748.

RICQLÈS, A. de (1972 b): «Vers une histoire de la physiologie thermique.
L'apparition
de
l'endothermie
et le concept de Reptile». *Ibidem*,
1875-1878.

ROMER, A. S. (1970): «The Chañares (Argentina) triassic reptile fauna. VI. A Chiniquidontid Cynodon with an incipient squamosal dentary jaw articulation». *Breviora* (Mus. Comp. Zool. Cambridge, Mass.), núm. 344,
18 p.

SIMPSON, G. G., 1928: *A catalogue of the mesozoic Mammalia in the Geological Department of the British Museum*. London, Brit. Mus. (Nat. Hist.).

SIMPSON, G. G. (1951): *Horses*. New York, Oxford Univ. Press.

SIMPSON, G. G. (1959): «Mesozoic Mammals and the polyphyletic origin of Mammals». *Evolution*, 13,
405-414.

SIMPSON, G. G. (1960): «Diagnoses on the classes Reptilia and Mammalia». Evolution, 14,
388-392.

SIMPSON, G. G. (1971): «Concluding remarks: Mesozoic mammals

revisited». *Early Mammals, Zool. Jour. Linnean Soc*. London, 50,
181-198.

STORMER, L. (1955): *Merostomata, Treatise on Invertebrate Paleontology*, pp. 4-41. Geol. Soc. Amer., ed.

TERMIER, H. & TERMIER, G. (1968): *Biologie et écologie des premiers fossiles*. Collection «Les Grands Problèmes de la Biologie». Direct. P. P. GRASSÉ. Paris, Masson, édit.

VANDERBROEK, G. (1964): «Recherches sur
l'origine
des Mammifères». Ann. *Soc. Roy. Zool. Belgique*. 94,
117-160.

VANDERBROEK, G. (1969): *Évolution des Vertébrés de leur origine à l'Homme*
. Paris, Masson, édit.,
583 p.

WATSON, D. M. S. (1931): «On the skeleton of a Bauriamorph Reptile», *Proc. Zool. Society of London*, 2,
1163-1205.

WATSON, D. M. S. (1942): «On permian and triassic Tetrapods». *Geol. Mag.*, 79.

WATSON, D. M. S. (1954): «On *Balosaurus* and the origin and classification of Reptiles». *Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard*, 111, núm. 9.

Capítulo 3

La evolución, fenómeno histórico discontinuo

BAILEY, D. W. (1956): «Re-examination of the diversity in *Partula taeniata». Evolution*, 10,
360-366.

BAUCHOT, R. (1972): «Le degré

d'organisation
cérébrale des Mammifères». En *Traité de Zoologie*, direct. P. P. GRASSÉ, t. XVI, fase. 4,
360-384.

BRODKORB, P. (1970): «Catalogue of the fossile Birds». *Bulletin of the Florida State Museum*., 15,
163-266.

CHALINE, J. (1972): *Cahiers de Paléontologie*, C. N. R.
S**(e61)**.

CHALINE, J. (1973): «Les Rongeurs fossiles au service de la préhistoire». *La Recherche*, 4,
180-181.

CRAMPTON, H. E. (1916): «Studies on the variation, distribution, and evolution of the genus *Partula*. The species inhabiting Tahiti». *Carnegie Inst. Washingston. Publi*.: 228,
1-311.

CUÉNOT, L. (1952): «Phylogenèse du Règne animal». In *Traité de Zoologie*, direct. P. P. GRASSÉ, t. I, fase. 1,
1-33.

DELAMARE-DEBOUTTEVILLE,
C. & B
OTOSANÉANU, L. (1970): *Formes primitives vivantes*. Paris, Hermann, édit.

FORD, E. B. (1971): *Ecological genetics*, 3.a ed. London, Chapman and Hall, edit.

GARSTANG, W. (1894): «Preliminary note on a new theory of the phylogeny of the Chordata». *Zoologischer Anzeiger*, núm. 444.

GARSTANG, W. (1929): «The morphology of the Tunicates and its bearings on the phylogeny of the Chordata». *Quart. J. Microsc. Sci*., N. Ser., 72,
51-187.

GASKELL, W. H. (1908): *The origin of Vertebrates*. Longmans, Green and Co., ed., London.

GEOFFROY SAINT-HILAIRE, E.

(1818-1822):
Philosophie anatomique. T. I. Des organes respiratoires; t. II. Des monstruosités. Paris.

GRASSÉ, P. P. (1969): «La classification de la faune terrestre», En *Précis de Zoologie*. T. I. Invertébrés., 2.a ed. Paris, Masson, édit.

HALDANE, J. S. (1956): «The theory of selection for melanism in Lepidoptera». *Proceed. Roy. Soc.*, B. 145,
303-306.

HUBRECHT, A. A. W (1887): «The relations of the Nemertes to Vertebrata». *Quarter. Journ. micros. Sci.* sér. 3, 27, n.o 108.

JARVIK, E. (1960): *Théories de des Vertébrés*
l'évolution
. Paris, Masson, édit.

JEANNEL, R. (1944): *Les fossiles vivants des cavernes*. Paris, Gallimard, édit.

JEANNEL, R. (1949): «Classification et phylogénie des Insectes». En *Traité de Zoologie*, direct. P. P. GRASSÉ, t. IX,
3-85.
Évolution et géonémie des Insectes. *Ibidem*,
86-110.

KERNAR-PILLAUT, S. (1969): «Abeilles fossiles, ancêtres des Apides sociaux»: *Proceed Union intern, étude Insectes sociaux*, Berna, V Congreso,
85-93.

KOZHOV, M. (1968): *Lake Baïkal and its life*. La Haye, Junk, ed.

LEHMAN, J. P. (1959): *des Vertébrés inférieurs. Quelques problèmes*
L'évolution
. Paris, Dunod, édit.

MARTYNOV, A. B. (1938): «Étude sur
l'histoire
géologique et de phylogénie des ordres des Insectes Ptérygotes. I.-Palaeoptera, Neoptera, Polyneoptera. Trav. Inst. paléonto.», *Acad. Sci. U. R. S. S.*, 7, fase. 4.

MASTERMANN, A. T. (1897): «On the notochord of *Cephalodiscus*».

Zool. Anz., 20.

MAYR, E. (1945): *Systematics and the origin of species*. New York, Columbia Univ. Press.

MILLOT, J.; ANTHONY, J. (1972): «La glande postanale de *Latimeria*». *Annales des Sciences naturelles, Zoologie*, 12.e sér., 14, 305-318.

MILLOT, J.; ANTHONY, J. (1973): «L'appareil excréteur de *Latimeria chalumnae* Smith (Poisson coelacanthide)». *Ann. Sci. Nat. Zool.*, 12e sér., 15, 293-328.

MORET, L. (1952): «Embranchement des Spongiaires». En *Traité de Paléontologie*, dirigé par J. PIVETEAU, t. I, 333-374. Paris, Masson, édit.

MURRAY, J.; CLARKE, B. (1966): «The inheritance of polymorphic shell characters in *Partula* (Gastropoda)». *Genetics*, 54, 1261-1277.

PATTEN, W. (1890): «On the origin of Vertebrates from Arachnids». *Quarterly Journal of Microscopical Science*, sér., 1, 31.

PORTMANN, A. (1972): «La cérébralisation des Mammifères». In *Traité de Zoologie*, t. XVI, fase. 4, 385-417.

ROMER, A. S. (1955): *The vertebrate body*.

SCOURFIELD, D. J. (1937): «An anomalous fossil organism, possibly a new type of Chordate from the Upper Silurian of Lesmahagow, Lanarkshire, *Ainiktozoon loganense* gen. et sp. nov.». *Proceed. Royal Society of London*, B. 121.

STAINER, R. Y.; DOUDOROFF, M.; ADELBERG, ed. A. (1966): *Précis de Microbiologie*. Paris, Masson édit.

VALLOIS, H. V. (1972): «Le gisement et les squelette de Saint-Germain la Rivière. 30 partie. Anthropologie». *Archives de de Paléontologie humaine*

l'Institut
, Paris, memoria, 34,
45-112.

VANDEL, A. (1972): «La répartition des Oniscoïdes (Crustacés, Isopodes terrestres) et la derive des continents». *C. R. Acad. des Sci.*, 275,
2069-2972.

WELCH, D'A. A. (1938): «Distribution and variation of *Achatinella mustelina* in the Waianae Mountains, Oahu». *Berenice P. Bishop Museum Bulletin*, 152,
1-164,
671-684.

WHITE, E. I. (1946): «*Jamoytis kerwoodi*, a new Chordate from the Silurian of Lanarkshine». *Geological Magazine*, 83.

Capítulo 4

La evolución y el azar

BARTHELEMY-MADAULE, M. (1972): *du hasard et de la nécessité*
L'idéologie
. Paris, Le Seuil, édit.

BOGDANSKI, C. (1972): «Les êtres vivants comme une des principales classes des systèmes autorégulateurs naturels». *Bulletin biologique de la France et de la Belgique*, 106,
4-26.

BOREL, E. (1943): *Les probabilités et la vie*. Paris, Presses Universitaires de France, édit.

BOREL, E. (1950): *Probabilité et certitude*. Paris, Presses Universitaires de France, édit.

CUÉNOT, L. (1946): *Hasard ou finalité, métaphysique*
l'Inquiétude
. Rencontres. Éditions du Renouveau, Bruxelles.

IVANOFF, A. (1953): *Les aberrations de l'oeil*. Paris. Édit de la Revue d'Optique.

LILLIE, R. S. (1948): «Randomness and directioness in the evolution and activity of organisms». *Amer. Nat.*, 82(e62).

MONOD, J. (1970): *Le hasard et la nécessité*. Paris, Le Seuil.

MUKAI, T. (1964): «The genetic structure of natural populations of *Drosophila melanogaster*. I. Spontaneous mutation rate of polygenes controlling viabilité». *Genetics*, 50, 1-19.

OPARIN, A. I. (1965): *de la vie sur la Terre L'origine*. Edición francesa por P. GAVAUDAN y M. GUYOT, con comentarios de P. GAVAUDAN, Paris, Masson, édit.

OPARIN, A. I. (1967): «Etat actuel du Problème de l'origine de la vie et ses perspectives». En *Biogenèse*, 17-29, publicado bajo la dirección de J.-ANDRÉ THOMAS. Paris, Masson, édit.

POINCARÉ, H. (1912): *Calcul des probabilités*. Paris, Gauthier-Villars, édit., y también *Science et Méthode*. Paris. Flammarion, édit.

SALET, G. (1972): *Hasard et certitude*. Paris, Édit. Scient. Saint-Edme.

WADDINGTON, C. H. (1965): *The strategy of genes*. London, Allen and Unwin, ed.

Capítulo 5

Evolución y selección natural

CAIN, A. J.; CURREY, J. D. (1963): «Area effects in *Cepaea*». *Philos.*

Trans. Royal Soc., B, 246,
1-81.

CAIN, A. J.; CURREY, J. D. (1968) a: «Climate and selection of banding morphs in *Cepaea* from the climate optimum to the present day». *Philos. Trans. Roy. Soc.*, London, B, 253,
483-498.

CAIN, A. J.; CURREY, J. D. (1968) b: «Ecogenetics of a population of *Cepaea nemoralis* subjects to strong effects». *Philos. Trans. Roy. Soc.*, London, B, 253,
447-82.

CAIN, A. J.; SHEPARD, P. M. (1950): «Selection in the polymorphic land snail *Cepaea nemoralis*». *Heredity*, 4,
275-294.

CAIN, A. J.; SHEPARD, P. M. (1952): «The effects of natural selection on body colour in the land snail *Cepaea nemoralis*». *Heredity*, 6,
217-231.

CAIN, A. J.; SHEPARD, P. M. (1954): «Natural selection in *Cepaea*». *Genetics*, 39,
89-116.

COCHRAN, D. G.; GRAYSON, J. M.; LEVITAN, M. (1952): Chromosomal and cytoplasmic factors in transmission of DDT resistance in the German cockroach. *Journ. Econ. Entomology*, 4,
997-1001.

DARWIN, CH.; WALLACE, A. R.: *Evolution by natural selection*. Edición de 1958 con un preámbulo de SIR GAVIN DE BEER. Cambridge University Press.

DIVER, C. (1929): «Fossil records of mendelian mutants», *Nature*, 124, 183.

DOBZHANSKY, T.; EHRMAN, L.; PAVLOVSKY SPASSKY, B. (1964): «The superspecies *Drosophila paulistarum*». *Proceedings Nat. Acad. Sci.*, 51,
3-9.

FISHER, R. A. (1920): «The measurement of selective intensity».

Proceed. Roy. Soc., London, B, 121,
58-62.

FISHER, R. A. (1930): *The genetical theory of natural selection*. Oxford.

FORD, E. B. (1971): *Ecological genetics*. Chapman and Hall, ed. London,
410 p.

GOODMAN, M., al. (1971): «Evolving Primates genes and protein». In *Comparative genetics in Monkeys, apes and Man*, publicado por A. B. CHIARELLI. London and New York, Academic Press, ed.

HALDANE, J. B. S. (1924) a: «A mathematical theory of natural and artificial selection. Part I». *Transactions*, Cambridge, Philos. Soc., 23,
19-41.

HALDANE, J. B. S. (1924 a 1931): «A mathematical theory of natural and artificial selection. Part V à VIII». *Proceedings Cambridge Philos. Soc*. 1,
158-163,
363-373,
607-615,
838-844;
26,
220-230;
27,
131-136,
137-142.

HALDANE, J. B. S. (1932): *The causes of evolution*. Longmans, Green and Co. publ. London, New York, Toronto.

HALDANE, J. B. S. (1955): «The measurement of natural selection». *Atti 9.o Congresso intern. Genet*.

HALDANE, J. B. S. (1956): «The theory of selection for melanism in Lepidoptera». *Proceed. Royal Society*, London, B, 145,
303-306.

KIMURA, M.; OHTA, T. (1971): *Theoretical aspects of population*

genetics. Princeton Univ. Press., Princeton, New Jersey.

LAMOTTE, M. (1951, 1966): Véase bibliografía, cap. 6.

LEDERBERG, J.; TATUM, E. Z. (1946): «Gene recombination, in *Escherichia coli*». *Nature*, 158, 58.

LIMOGES, C. (1970): *La sélection naturelle. Étude sur la première constitution concept d'un (1837-1859)*. Paris, Presses Universitaires de France.

MALTHUS, T. R. (1798): *Primer ensayo sobre la población*. Traducido del inglés por P. de Azcárate y J. Vergara. Alianza Editorial, Madrid, 1966.

MOORE, J. A. (1946): «Incipient intraspecific isolating mechanism in *Rana pipiens*». *Genetics*, 31, 304-326.

MOORE, J. A. (1949): «Geographic variation of adaptative characters in *Rana pipiens* Schreber». *Evolution*, 3, 1-24.

ROMAN, E.; PICHOT, J. (1972): «Variations, pendant un quart de siècle, de la sensibilité au DDT des larves de *Culex pipiens* autogène à Lyon et dans ses environs». *C. R. Acad. Sic*., Paris, 274, 1187-1189.

SPENCER, H. (1893): «Inadequacy of natural selection». *Contemporary Review*, marzo y mayo.

STURTEVANT, A. H. (1924): «An interpretation of orthogenesis». *Science*., 9, 579-580.

TEISSIER, G. (1943): «Apparition et fixation d'un gène mutant dans une population stationnaire de Droshophiles». *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 216, 88.

TEISSIER, G. (1958): *Titres et travaux scientifiques*. — 1962. Suplemento. Paris, Prieur et Robin, édit.

WALLACE, A. R. (1908): «Note on the passage of Malthus Principle of population, wich suggested the idea of natural selection to Darwin and myself». *Darwin and Wallace celebration held on thursday 1 July, 1908*. London, 111-118.

WRIGHT (SEWALL) (1969): Véase bibliografía de Prolegómenos.

ZEUNER, F. E.: *A History of domesticated animals*. Hutchinson, ed., London, 560 p.

Capítulo 6

Adaptación y evolución

BALDWIN, J. M. (1902): *Development and evolution*.

BERNARDIN DE SAINT-PIERRE, J.-H. (1784): *Études de la Nature*. En *Oeuvres complètes*, II, p. 334, Paris, 1825.

BONNIER, G. (1890): «Cultures expérimentales dans les Alpes et les Pyrénées». *Rev. géné. de Botanique*, 2, 513. — 1894 *a*. Recherches expérimentales sur l'adaptation des plantes au climat alpin. *Ann. Sci. nat.* Botanique, 20, 217-360.
— 1894 *b*. Les plantes arctiques comparées aux mêmes espèces des Alpes et des Pyrénées. *Rev. géné. de Botanique*, 6, 505-527.

BURGIN-WYSS, U. (1961): «Die Ruckenhänge von *Trinchesia coerulea* (Montagu). Eine morphologische Studie über Farbmuster bei Nudibranchiern». *Revue Suisse Zool*. 68, 461-582.

CAIN, A. J.; CURREY, J. D. (1968): «Climate and selection of banding morphs in *Cepaea* from the climate optimum to the present day». *Philo. Trans. Roy. Soc*., B. 253, 483-498.

CASSAGNAU, P. (1961): «Écologie du sol dans les Pyrénées centrales. Les biocénoses de Collemboles». *Actualités scientifiques et industrielles*. N.o 1283,
235 p.

COMBES, R. (1934): «Action du milieu extérieur sur le métabolisme végétal». *Revue géné. de Botanique*, 46,
513-527.

COMBES, R. (1946): *La forme des végétaux et le milieu*. Paris, A. COLIN, édit.,
222 p.

CRAMPTON, W. E. (1916): «Studies on the variation, distribution and evolution of the genus *Partula*: The species inhabiting Tahiti». *Publications of the Carnegie Institution*, n.o 228.

CRAMPTON, H. E. (1925): «Contemporaneous organic differenciation of the species of *Partula* living in Moorea, Society Islands». *American Naturalist*. 59,
5-35.

CRAMPTON, H. E. (1932): «Studies on the variation, distribution, and evolution of the genus *Partula*: The species inhabiting Moorea». *Publications of the Carnegie Institution*, n.o 410.

CUÉNOT, L. (1925): *L'Adaptation*. Paris, Doin, édit.

DELEURANCE-GLAÇON, S. (1963): «Recherches sur les Coléoptères troglobies de la sous-famille des Bathysciinae». *Ann. Sc. Nat. Zool.*, 12.e sér., 5,
1-172.

DOBZHANSKY, T. W.; BOESIGER, E. (1968): *Essais sur l'évolution*
. Paris, Masson, édit.

DURAND, J. P. (1971): *Recherches sur visuel du Protée l'appareil*
Proteus anguinus. *Laur., Urodèle hypogé*. Thése. Faculté des Sci. Toulouse.

GERTRUDE, M. T. (1937): «Métabolisme et morphogenèse en milieu aquatique». *Revue géné. de Botanique*, 49, 161.

GLAÇON, S. (1953): «Sur le cyclé évolutif d'un Coléoptère troglobie, *Speonomus longicornis». S. C. R. Acad. Sci.*, Paris, 232, 1027-1029.

GRANT, V. (1962): *The origin of the adaptation*. Columbia University Press. New York, 606 p.

HALDANE, J. B. S. (1956): «The theory of melanism in Lepidoptera». *Proceedings of the Royal Society*. B, 145, 303-306.

JEANNEL, R. (1926): *Faune cavernicole de la France*. Paris, Lechevalier, 1 vol., 334 p.

JEANNEL, R. 1944): *Les fossiles vivants des cavernes*. Paris. Gallimard.

JEANNEL, R. (1952): «Psélaphides recueillis par N. Leleup au Congo belge. IV Faune de l'Itombwee et du Rugege». *Annales du Musée du Congo belge*, Sc. Zool., 11.

JEANNEL, R. (1953): «Origine et répartition des Psélaphides de l'Afrique intertropicale». Transaction IXe *Intern. Cong. Entomol*. Amsterdam, II.

JEANNEL, R.; LELEUP, N. (1952): «L'évolution souterraine dans la région méditerranéenne et sur les montagnes du Kivu». *Notes Biospeo*., 7, 7-13.

KEPNER, W. A.; GREGORY, W. C.; PORTER, R. J. (935): «The manipulation of the nematocysts de *Chlorohydra* by *Microstomum*». Zool. Anzeiger, 121.

KEPNER, W. A.; NUTTYCOMBE, J. W. (1929): «Further studies on the nematocysts of Microstomum caudatum». *Biol. Bull*. 57,

69-78.

LAMOTTE, M. (1951): «Recherches sur la structure génétique des populations naturelles de *Cepaea nemoralis*». *L. Bulletin biologique de la France et de la Belgique*, Suplemento, 35, 1-239.

LAMOTTE, M. (1959): «Polymorphism of natural populations of *Cepaea nemoralis*». *Cold Spring Harbour Symposium of Quantitative Biology*, 24, 65-86.

LAMOTTE, M. (1966): «Les facteurs de la diversité du polymorphisme dans les populations naturelles de *Cepaea nemoralis*». *Lavori della Societa Malacologica Italiana*, 3, 33-73.

LARBAUD, M. (1923): «Modifications causées par le climat alpin dans la morphologie et l'anatomie florales». *Annales des Sciences naturelles; Botanique*, 10e sér., 5, 193-317.

LEDERBERG, J.; LEDERBERG, E. M. (1952): «Replica plating and indirect selection of bacterial mutants». *Journ of Bact.*, 63, 399-406.

LORKOVIC, Z. (1941): «Die Chromosomenzahlen in der Spermatogenese der Tagfalter». *Chromosoma*, 2, 111-191.

LURIA, S. E.; DELBRUCK, M. (1943): «Mutations of bacteria from virus sensivity to virus resistance». *Genetics*, 28, 491-511.

MARTIN, C. H. (1908): «The nematocysts of Turbellaria». *Quart. J. Micro. Sci.*, 5.

MATSAKIS, J. (1962): «Contribution à l'étude du développement prostembryonnaire et de l'évolution

de la forme chez quelques Crutacés Isopodes». *Bullet. Biol. de la France et de la Belgique*, 96,
531-691.

MEIXNER, J. (1923): «Ueber die Kleptokniden von *Microstomum lineare* (Müll.)». *Biol Zentralbl.*, 43,
559-573.

MOLLIARAD, M. (1907): «Action morphogénique de quelques substances organiques sur les végétaux supérieurs». *Revue genérale de Botanique*, 19,
241-290.

MURRAY, J; CLARKE, B. (1966): «The inheritance of polymorphic shell characters in *Partula* (Gastropoda)». *Genetics*, 54,
1261-1277.

NEWMAN, B. H. (1968): *Nature*, 220, 123**(e63)**.

PIÉRON, H. (1945): *La sensation guide de vie, Paris, Gallimard. Plate, L. (1913): Selektionsprinzip und Probleme der Artbildung*. 4.a ed. Leipzig und Berlin.

RABAUD, E. (1922): *L'Adaptation et l'évolution*. Chiron, édit., Paris,
284 p.

RABAUD, E. (1932-1934): *Zoologie biologique*. Paris, Gauthier-Villars.

RUYER, R (1952): *Néofinalisme*. Paris, Presses Universitaires de France, édit.

THINES, G. (1969): *L'évolution régressive des Poissons cavernicoles et abyssaux*. Paris, Masson, édit.

VANDEL, A. (1964): *La biospéologie. La biologie des animaux cavernicoles*. Paris, Gauthier-Villars, édit., 1 vol.
616 p.

WEISMANN, A. (1885): «La continuité du plasma germinatif comme base
d'une

théorie de
l'hérédité
». En *Essais sur et la sélection naturelle
l'hérédité
*. Traducción H. DE VARIGNY, Paris, 1892. — 1888: «La prétendue transmission héréditaire des mutilations». Conferencia pronunciada en la Asamblea de los Naturalistas Alemanes, Colonia. En *Ibidem*, traducción H. DE VARIGNY, Paris, 1892.

WEISMANN, A. (1886): «La régression dans la nature. Conférence donée à
l´Akademische
Gesellschaft de Fribourg-en-Brisgau». En *Essais sur
l'hérédité
*, traducidos del alemán por H. DE VARIGNY, Paris, Reinwald, édit., 1892, p. 381-409.

WHITE, M. J. D. (1945): *Animal cytology and evolution*. Cambridge University Press.

Capítulo 7

Evolución y necesidad

BOUTROUX, E. (1874): *De la contingence des lois de la nature*, Paris.

HUXLEY, J. (1942): «Evolutionary progress», en *Evolution, the modern synthesis*, p. 556 a 578, London,
Allen & Unwin.

LAPORTE, J. (1941): *de nécessité
L'idée
*. Paris,
157 p.

MONOD, J. (1970): *Le hasard et la nécessité*. Le Seuil. Paris.

RABAUD, Et. (1953): *Le hasard et la vie des espèces*, Paris, Flammarion.

Capítulo 8

Las actividades genéticas y sus relaciones con la evolución

AVERY, D. T.; MAC LEOD, C. M.; MC CARTY, M. (1944): «Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal typus. Induction of transformation by a desoxyribonucleic fraction isolated from *Pneumococcus* type III». *Journal Exp. Medicin*, 79, 137-158.

BEADLE, G. W.; TATUM, E. L. (1941): «Genetic control of biochemical reactions in Neurospora». *Proceed. Nat. Acad. Sci.*, 27, 499-506.

BEERMANN, W. (1972): *Developmental studies on giant chromosomes. Results and problems in cell differenciation*. Berlin, Heidelberg, Springer.

BOLTON, E. T.; MCCARTHY, B. J. (1962): «A general method of isolation of RNA complementary to DNA». *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 48, 1390.

BORCHARDT, E. (1927): «Beitrag zur heteromorphen Regeneration bei *Dixippus morosus*». *Arch. Entwicklungsmech. der Organismen*, 110, 366-394.

BOVERI, TH.; HOGUE, M. (1909): «Ueber die Möglichkeit Ascariseir zur Teilung in zwei gleichvertige Blastomeren zu veranlassen». *Verhandlungen der Physikalischemedizinischen Gesellchaft zu Würzburg.*

BRACHET, A. (1922): «Recherches sur la fécondation prématurée de l'oeuf d'Oursin ». *Archives de Biologie*, 32, 305-248.

BRITTEN, R. J.; DAVIDSON, E. H. (1969): «Gene regulation for higher cells: a theory». *Science*, 165,

347-357.

BRITTEN, R. J.; KOHNE, D. E. (1970): «Repeated segments of DNA». *Scientific American*, 222, 24-31.

BRITTEN, R. J.; KOHNE, D. E. (1968): «Repeated sequences in DNA». *Science*, 161, 529-540.

CHAHBERS, R.: «Microdissection studies. I», *Amer. Journ. Physiology*, 41, 1917; II, *Journ. exp. Zool.*, 23, 1917; III, *Biolog. Bulletin*, 43, 1921.

CHEDD, G. (1969): «A job for all those genes». *New Scientist*, 43, 321-324.

CHIARELLI, A. B. (1971): *Comparative genetics in Monkeys, Apes and Man*. London and New York, Academic Press.

CRICK, F. (1970): «Central dogma of molecular biology». *Nature*, 227, 561-563.

CUÉNOT, L. (1921 a): «Régéneration de pattes à la place d'antennes sectionnées chez un Phasme». *C. R. Acad. Sci*. Paris, 172, 949.

CUÉNOT, L. (1921 b): «Sur les différents modes de régénération des antennes chez le Phasme *Carausius morosus*». *C. R. Acad. Sci*. Paris, 172, 1009.

DAVIDSON, J. N. (1972): *The Biochemistry of the Nucleic Acids*, 7th. ed. London, Chapman and Hall.

DAWYDOFF, C. (1942): «La régénération créatrice des Némertes». *Bull. Biol. Fr. et Belg*. 76, 58-141.

DOLLO, L. (1893): «Les lois de l'évolution». *Bull. Soc. Belg. Géol*. VII, Proc. Verb. 164-166.

DRIESCH, H. (1921): *La philosophie de l'organisme*

, Paris, Rivière, édit Traducida por M. KOLLMANN de la obra alemana *Philosophie des Organismen*, 1909.

FEULGEN, R.; ROSSENBECK, H. (1924): *Hoppe Zeitschrift Seyler's*, 135, cap. VIII, 203**(e64)**.

GALLO, R. C. (1971): «Reverse transcriptase, the DNA transcriptase of oncogenic RNA viruses». *Nature*, 234, 194-198.

GERING, W.; MINDEK, G.; HADORN, E. (1968): «Auto- und allotypische Differenzierungen aus Blastemen der Halterenscheibe von *Drosophila melanogaster* nach cultur *in vivo*». *Journal of embryology and experimental morphology*, 20, 307-318.

GIARD, A. (1897): «Sur les régénérations hypotypiques». *C. R. de la Soc. de biologie*, 4, 315-317.

GOIN, O. B.; GOIN, C. J. (1968): «DNA and the evolution of the Vertebrates». *Amer. Midland Naturalist*, 80, 289-298.

GOODMAN, M. (1961): *Human Biol.*, 33, 131**(e65)**.

GROUCHY, J. DE al. (1972): «Evolutions caryotypiques de l'Homme et du Chimpanzé». *Annales de Génétique*, 15, 79.

HATANAKA, M.; KAKEFUDA, T., *et al.* (1971): «Cytoplasmic DNA synthesis induced by RNA tumor viruses». *Proceed. Nat. Acad. U. S. A.*, 68, 1844-1847.

HERBST, C. (1896): «Ueber die Regeneration von antennenähnlichen Organen an Stelle von Augen». *Arch. f. Entwickmech.*, 2, 544-563.

HILL, H.; HILLOVA, J. (1972): *Nature. New Biology*, 237, 35**(e66)**.

JACOB, F; MO¨NOD, J. (1961): «Genetic regulatory mechanism in the synthesis of proteins». *Journ. Mol. Biol.*, 3,

318-356.

JURES, T. H. (1966): *Molecules and evolution*. New York and London, Columbia Univ. Press.

KACIAN, D. L.; SPIEGELMAN, S. *et al*. (1972). «*In vitro* synthesis of DNA compoments of human genes for globins». *Nature*, New Biology, 235,
167-169.

KOHNE, D. E. (1970): *Quarterly Rev. Biophysic*, 3, 327(e67).

LEDERBERG, J.; Tatum, E. L. (1946): «Gene recombination in *Escherichia coli*». *Nature*, 158, 558.

LESBRE, F. X. (1927): *Traité de tératologie de et des animaux domestiques*
l'Homme
. Vigot, Paris.

LOEB, J. (1891): *Untersuchungen zur physiologischen Morphologie der Thiere*. 1. Heteromorphosis. Würzburg.

LUBISCHEV, A. (1925): «On the nature of hereditary factors» (en ruso con un régimen en inglés). *Bull. Inst. Rech. Biol. Univ. de Perm*, 4.

MATISSE, G. (1942): *illusion*
L'éternelle
. Édit.
d'art
et
d'histoire
. Paris.

MATTHEY, R. (1969): *Traité de Zoologie*, P.-P. GRASSÉ, XVI, fase. 4, Les Chromosomes et
l'évolution
chromosomique des Mammifères, p. 855-909.

MATTHEY, R. (1970): «Les chromosomes des Reptiles», In *Traité de Zoologie*, direct. P. P. GRASSÉ, t. XIV, fase. 3,
829-858.

MATTHEY, R.; JOTTERAND, M. (1972): «Deux espèces cryptiques sont

confondues sous le nom de *Gerbillus gracilis* Th. (Gerbillinae)». *Revue suisse de Zoologie*, 1104-1105,

MONOD, J.; JACOB, F. (1961): «Teleonomic mechanism in cellular metabolism, growth and differenciation». *Cold Spring Harbour Sympos.*, 26, 389-401.

NIRENBERG, M. W.; JONES, O. W.; LEDER, P.; CLARK, B. F. C.; SLY, W. S.; PESTKA, S. (1963): «On the coding of genetic information». *Cold Spring Harbor Symposium Quantitative Biol*. 28, 549.

OHNO, S. (1970): *Evolution by gene duplication*. Springer. Berlín, Heidelberg, New York.

ROSS, J.; AVIV, H. *et al.* (1972): «*In vitro* synthesis of DNA complementary to purifed rabbit globin mRNA». *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 69, 264-268.

SCHILDKRAUT, C.; MARMUR, J.; DOTY, P. (1967): «The formation hybrid DNA molecules and their use in studies of DNA homologies». *Journ. Molec. Biol.*, 5, 595-617.

SPEYER, J. E.; LENGYEL, P.; BASILIO, A.; WAHBA, A. J.; GARDNER, R. S.; OCHOA, S. (1963): *Cold Spring Harbor Symposium Quantitative Biol.*, 28, 559**(e68)**.

STELBIUS, G. L. (1966): «Chromosomal variation and evolution». *Science*, 152, 1463-1469.

SUTTON, W. S. (1903): «The chromosomes in heredity». *Biological Bulletin*, Woods Hole, vol. 4.

TEMIN, H. M. (1971): «Mechanisme of cell transformation by RNA tumor viruses». *Annual Review Microbiology*, 609-648.

TEMIN, H. M.; MIZUTANI, S. (1970): «RNA-dependent DNA polymerase in virions of Rous sarcoma virus». *Nature*, 266, 1211-1213.

TURLEAU, C.; GROUCHY, J. de (1972): «Caryotypes de l'Homme et du Chimpanzé. Comparaison de la topographie des bandes. Mécanismes évolutifs possibles». *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 274, 2355.

TURLEAU, C. *et al* (1972): «Phylogénie chromosomique de l'Homme et des Primates hominiens (*Pan troglodytes, Gorilla gorilla, Pongo pygmaeus*)». *Ann. Génét.*, 15, 225.

UYENO, T.; SMITH, G. R. (1972): «Tetraploid origin of the karyotype of Catostomid Fishes». *Science*, 175, 644-645.

WADDINGTON, C. H. (1969): «Gene regulation in higher cells». *Science*, 166, 639-640.

WARING, M.; BRITTEN, R. J. (1966): «Nucleotide sequence repetition: a rapidly reassociating fraction of Mouse DNA». *Science*, N. Y., 154, 791-794.

WATSON, J. D. (1968): *Molecular Biology of the Gene*. 2nd ed. W. A. Benjamin. Menlo Park, Calif.

YUNIS, J. J.; YASMINEH, W. G. (1971): «Heterochromatin, satellite DNA, and cell function». *Science*, 174, 1200-1209.

Capítulo 9

Nueva interpretación de los fenómenos evolutivos

ANDERSON, N. G. (1970): «Evolutionary significance of virus infection». *Nature*, 227, 1346-1347.

AARONSON, S. A.; PARKS, W. P.; SCOLNICK, E. M.; TODARO, G. J. (1971): *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 68, 920-924**(e69)**.

BALTIMORE, D. (1970): «Viral RNA-dependent DNA polymerase». *Nature*, 226, 1209-1211.

BALTZER, F. (1917): «Ueber Entwicklung und Vererbung bei Bastarden». *Verhandlungen schweiz. Gesellschaft*. Zurich.

BATAILLON, E.; TCHOU-SU (1929): «Analyse de la fécondation chez les Batraciens par l'hybridation et la polyspermie physiologique». *Archiv für Entwicklungsmechanik*, 115, 780-824.

BEADLE, G. W.; TATUM, E. C. (1941): «Genetic control of biochemical reactions in Neurospora». *Proceed. Nat. Acad. Sci.*, Washington, 27, 449.

BEERMANN, W. (1972): Véase capítulo 8.

BEERMANN, W; CLEVER, V. (1964): «Chromosome puffs», *Scientific American*, 180.

BELJANSKY, M. (1972): «Synthèse *in vitro* de l'ADN sur une matrice d'ARN par une transcriptase d'*Escherichia coli* ». *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 274, 2801-2804.

BELJANSKY, M.; MANIGAULT, P.; BOURGAREL, P. (1972): «Transformation of *Agrobacterium tumefaciens* into a non-oncogenic species by an *Escherichia coli* RNA». *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 69, 191-195.

BENZER, S. (1959): «On the topology of genetic fine structure». *Proceed. Nat. Acad. Sci.*, Washington, 45, 1607.

BENZER, S. (1961): «On the topography of genetic fine structure». *Ibidem*, 47, 403.

BRACHET (1922): «Recherches sur la fécondation prématurée de l'oeuf d'Oursin (*Paracentrotus lividus*)». *Arch. de Biol.*, 32, 205-248.

BRAUN, A. C.; WOOD, H. N. (1966): *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 56, 1417-1422(e70).

CAVALIERI, L. F. (1963): «Nucleic acids and information transfer». *Journ. Cell. Compar. Physiol.*, 62, suppl. 1, 111-122.

CHARGAFF, E. (1950): *Experientia*, 6, 201(e71).

CHARGAFF, E. (1965): *Developmental and metabolic control mechanisms and neoplasia*. Ed. Williams and Wilkins, Baltimore.

COMMONER, B. (1968): «Failure of the Watson-Crick theory as chemical explanation of inheritance». *Nature*, 220, 334-340.

CRICK, F. (1970): «Central dogma of molecular biology». *Nature*, 227, 561-563.

DAWYDOFF, C. (1942): «La régénération créatrice chez les Némertes». *Bull. Biol. de la France et de la Belgique*, 76, 58-140.

DELAGEe, Y.; GOLDSMITH, M. (1914): *Les théories de l'évolution*. Paris, Flammarion, édit.

DOBZHANSKY, T.; PAVLOVSKY, O. (1971): «Experimentally created incipient species of *Drosophila*». *Nature*, 230, 289-292.

DRIESCH, H. (1909): *La philosophie de l'organisme*. Rivière, Paris.

GABE, M.; SAINT GIRONS, H. (1965): «Contribution à la morphologie comparée du cloaque et des glandes épidermoïdes de la région

cloacale, chez les Lépidosauriens». *Mémoires du Muséum nat. naturelle d'Histoire*, Zoologie, 33, 151-292.

GABE, M.; SAINT GIRONS, H. (1967): Véase Capítulo 6.

GABE, M.; SAINT GIRONS, H. (1967): «Données histologiques sur le tégument et les glandes épidermoïdes des Lépidosauriens». *Acta anatomica*, 67, 571-594.

GALLO, R. C. (1971): «Reverse transcriptase, the DNA transcriptase of oncogenic RNA viruses». *Nature*, 234, 194-198.

GEGENBAUR, C. (1886): *Zur Kenntniss der Mammarorgane des Monotremen*. W. Engelmann, Leipzig.

GODLEWSKI, E. (1906): «Untersuchungen über die Bastardierung der Echiniden- und Crinoidenfamilie». *Archiv für Entwicklungmechanik*, 33.

GODLEWSKI, E. (1911): «Kombination der heterogenen Befruchtung mit der künstlichen Parthenogenesis». *Arch. für Entwicklungmechanik*, 33.

GOULIAN, M.; KORNBERG, A.; SINSHEIMER, R. L. (1967): «Enzymatic synthesis of DNA. XXIV. Synthesis of infections phage X 174 DNA». *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 58, 2321-2328.

GRASSÉ, P. (1957): «Ultrastructure, polarité et reproduction de l'appareil de Golgi». *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 245, 1278-1281.

GRASSÉ, P. (1961): «La reproduction par induction du blépharoplaste et du flagelle de *Trypanosoma equiperdum* (Flagellé protomonadine)». *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 252, 3917-3921.

GRASSÉ, P.; FAURE, A. (1935): «La reproduction de

l'appareil
parabasal de *Trichomonas caviae*». (Dav). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 200,
1493-1495.

GURDON, J. B. (1963): «Nuclear transplantation in Amphibia and the importance of stable nuclear changes in promoting cellular differenciaton». *Quart. Rev. Biol.*, 38,
54-78.

HAECKEL, E. (1877): *Les preuves du transformisme*, respuesta a Virchow(e72). Paris, Germer Baillière.

HATANAKA, M.; KAKEFUDA, T., *et al.* (1971): «Cytoplasmic DNA synthesis induced by RNA tumor viruses». *Proceed. Nat. Acad. U. S .A.*, 68,
1844-1847.

HILL & HILLOVA (1972): *Nature, New Biology*, 237(e73).

JOHANSEN, W. (1911): «The genotype conception of heredity». *Amer. Naturalist.*, 45,
129-159.

JORDAN, A. (1846-1848): «Observations sur plusieurs plantes nouvelles, rares ou critiques de la France». *Mémoire de la Société des Sciences naturelles de Lyon*.

JORDAN, A. (1864): «Diagnoses
d'espèces
nouvelles ou méconnues pour servir à une flore réformée de la France et des contrées voisines».

KACIAN, D. L.; SPIEGELMAN, S., *et al.* (1972): «*In vitro* synthesis of DNA components of human genes for globins». *Nature, New Biology*, 235,
167-169.

KOHNE, D. E. (1970): «Evolution of higher organism DNA». *Quart. Review Biophysic*, 3,
327-375.

KORNBERG, A. (1960): «Biologic synthesis of desoxyribonucleic acid». *Science*, 131,

1503-1608.

KORNBERG, A. (1962): *Enzymatic synthesis of DNA*, John Wiley, New York.

KORNBERG, A. (1969): «Active center of DNA polymerase». *Science*, 163,
1410-1418.

MACH, B.; REICH, E.; TATUM, E. L. (1963): «Visualization of bacterial genes in action». *Science*, 169,
392-395.

MILLER, O. L.; HAMKALO, B. A.; THOMAS, G. A. (1970): «Visualization of bacterial genes in action». *Science*, 169,
392-395.

MILLS, D. R.; KRAMER, F. R.; SPIEGELMAN, S. (1973): «Complete nucleotide sequence of a replicating RNA molecule». *Science*, 180,
916-927.

MORGAN, T. H. (1911): «An attempt to analyse the constitution of the chromosomes on the basis of sex-limited inheritance in *Drosophila». Journ. Exp. Zool.*, 11,
365-414.

NAEGELI, C. VON (1884): *Mecanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre*,
822 p.

NIRENBERG, M. W.; JONES, O. W.; LEDER, P.; CLARK, B. F. C.; SLY, W. S.; PESTKA, S. (1963): «On the coding of genetic information». *Cold Spring Harbor Symposium Quantitative Biol.*, 28, 549.

OHNO, S. (1970): *Evolution by Gene Duplication*. Springer. Berlín, Heidelberg, New York.

PÉNARD, CH. (1938): *Les infiniments petits dans leurs manifestations vitales*. Genéve, Georg, édit.

ROSS, J.; AVIV, H. al. (1972): «*In vitro* synthesis of DNA complementary to purifed rabbit globin mRNA». *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 69,
264-268.

ROUX, W. (1881): *Der Kampf der Teile im Organismus*.

SCHLEKMAN, R.; WICHNER, W.; WESTERGAARD, O.; BRUTLAG, D.; GEIDER, K.; BERTSCH, L. L.; KORNBERG, A. (1972): «Initiation of DNA synthesis: synthesis of φ X 174 replicative forme requires RNA synthesis resistant to rifampicine». *Proceed. National Academy Sci. U. S. A.*, 69, 2691-2695.

SCHMALHAUSEN, I. (1949): *Factors of evolution*. Philadelphia, Blakiston, ed.

SPEYER, J. E.; LENGYEL, P.; BASILIO, A.; WAHBA, A. J.; GARDNER, R. S.; OCHOA, S. (1963): *Cold Spring Harbor Symposium Quantitative Biol.*, 28, 559.

SPIEGELMAN, S. *et al.* (1970): «Characterization of the products of RNA directed DNA polymerases in oncogenic RNA viruses. — *Nature*, 227, 563-567.

—— DNA directed DNA polymerase activity in oncogenic RNA viruses». *Ibidem*, 227, 1029-1031.

— «Synthetic DNA-RNA hybrid and RNA-RNA duplexes as templates for the polymerases of the oncogenic RNA viruses». *Ibidem*, 228, 430-432.

SPURWAY, H. (1949): «Remarks on Vavilov's law of homologous variation». *La Ricerca scientifica*, suplement: Pallanza symposium, 18, Cons. Naz. delle Ricerche, Roma.

TAVLITZKI, J. (1972): «Le code génétique». *Biologie génétique*. Monographie annuelle de la Société française de Biologie clinique, 55-62.

TEMIN, H. M. (1964): *Nat. Cancer Institut Monog.*, 17, 557-570.

TEMIN, H. M. (1971): «Mechanism of cell transformation by RNA tumor viruses». *Annual Review Microbiology*, 609-648.

TEMIN, H. M.; MIZUTANI, S. (1970): «RNA-dependent DNA polymerase in visions of Rous Sarcoma virus». *Nature*, 266, 1211-1213.

WADDINGTON, C. H. (1957): *Strategy of the genes*. London, Allen & Unwin.

WATSON, J. D.; CRICK, F. C. (1953): «Molecular structure of nucleic acids. A structure of desoxyribose nucleic acids». *Nature*, 171, 737-738.

WEISMANN, A. (1892): *Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung*, Jena.

WEISMANN, A. (1902): *On germinal selection as a source of definitive variation*. London, Religion and Science Library.

WEISMANN, A. (1902): *Vorträge über Deszendenztheorie*, t. I et II. Jena.

WHYTE, L. L. (1965): *Internal factors in evolution*. London, Associated Book Publishers Limited.

WINTREBERT, P. (1962): *Le vivant créateur de son évolution*. Paris, Masson, édit.

WOLFF, E. (1971): «Les grandes problèmes posés par un petit Grapaud vivipare et accoucheur de Guinée». *Sciences*, n.º 74-75, 32-38.

WODER, J. H. (1959): *Studies on the foundations of genetics in the axiomatic method*. North Holland Publishing Company.

PIERRE PAUL GRASSÉ (Périgheux, Dordoña, 27 de noviembre 1895 - París 9 de julio 1985) fue un biólogo, zoólogo, y paleontólogo francés, autor de más de 300 publicaciones, entre las cuales destaca un importante tratado de Zoología.

Doctor en Ciencias Biológicas, fue ayudante en la Universidad de Montpellier (1920), y profesor en la Universidad de Clermont-Ferrand (1929) y en la Facultad de Ciencias de la Universidad de la Sorbona en París (1937), donde en 1941 pasó a ser titular de la cátedra de Evolución de los Seres Organizados. Colaboró activamente en la creación de diversos centros de investigación en su país y en el extranjero, así como en varias revistas científicas. Tuvo una doble especialidad zoológica, pues su vida la dividió entre el cultivo de la protozoología y la entomología, publicando numerosos trabajos sobre protozoos y sobre insectos sociales.

En el ámbito de la biología, sus principales trabajos se centraron en la citología, la microscopía y la biología del comportamiento de una gran variedad de insectos, en especial de los termes. Pierre Paul Grassé discrepaba radicalmente sobre el concepto de mutación con la teoría evolucionista de Darwin, al considerar que las mutaciones no tienen nada que ver con la evolución; las comparaba con un error de imprenta que se ejecuta al copiar un texto y consideraba

que éstas no se acumulaban en sucesivas generaciones.

Fue autor de más de quinientas publicaciones, entre las que destacan obras como Evolución de los organismos vivos (1977). Dirigió además la publicación de treinta y cinco volúmenes del *Tratado de Zoología*.

Miembro de la Academia Francesa de las Ciencias el 29 de noviembre de 1948 (sección de anatomía y zoología y en 1976 de la sección de biología animal y vegetal). En 1967 fue nombrado Presidente de dicha Academia.

La abreviatura «Grassé» se emplea para indicar a Pierre-Paul Grassé como autoridad en la descripción y clasificación científica de los vegetales.

Notas

[1] Este término, cuya utilización en biología proscriben algunos, carece de equivalente para expresar las adaptaciones. Como me he prohibido a mí mismo hablar de lo transcendente, la palabra «invención» no tiene aquí valor metafísico alguno, sino que refleja simplemente un hecho. < <

[2] Esta carta se conserva en el British Museum. Ha sido publicada, acompañada de un facsímil, por el doctor VERNET (*du monde vivant*
L'Evolution
, Plon, París, 1950). < <

[3] R. P. LEVINE, *Génetique*, Ediscience, París, 1969, p. 196. (El subrayado es nuestro). < <

[4] P. T. MORA, *The Origin of Prebiological Systems*, p. 40. (El subrayado es nuestro). < <

[5] El darwinismo está tan firmemente establecido que es difícil pensar en la evolución en términos que no sean los de la selección de los caracteres adecuados y los genes ventajosos. Los nuevos desarrollos técnicos y un nuevo método como es el análisis de la secuencia de proteínas y el descifrado del código genético han hecho posible y, por lo tanto, necesario un estudio más preciso de los procesos evolutivos. < <

[6] Esto es hasta tal punto cierto que en su obra clásica, compendio del neodarwinismo (*Evolution: The Modern Synthesis*, 1940) J. HUXLEY da sólo 24 títulos de publicaciones que traten, de cerca o de lejos, de fósiles, en una bibliografía que cuenta con 890. La interpretación teórica de las variaciones que manifiestan los animales y las plantas actuales supera con mucho a la consideración de formas fósiles, que, sin embargo, son las únicas que concretizan la evolución. < <

[7] Huesos pares incluidos en la pared ventral de Monotremas y Marsupiales, que se articulan con el pubis y son libres por delante. < <

[8] Es probable que la formación de pigmentos agentes de la fotosíntesis se produjera en más de una ocasión a lo largo de la historia de la biosfera; en las algas azules, en las clorobacterias y en los vegetales verdes celulares. < <

[9] *Ainiktozoon* del Silúrico superior y *Scaumenella* del Devónico superior quizá sean Procordados. El *Jamoytius* (Silúrico sup.) parece ser un Agnato anáspido y no un Procordado. Estos fósiles están en mal estado; su estudio sólo puede proporcionarnos resultados discutibles. (*Véase* también SCOURFIELD, 1937, y WHITE, 1946). < <

[10] Los Peces constituyen una superclase que se compone de varias grandes líneas profundamente diversas y que han conocido destinos y fortunas diferentes. < <

[11] Los Mamíferos y las Aves han surgido de los Reptiles, pero de antepasados pertenecientes a órdenes muy separados unos de otros. < <

[12] Véase *El hombre, es dios en miniatura*, Hermman Blume Editorial, Madrid, 1979. < <

[13] Las Bacterias quimiótrofas, todavía muy abundantes en la naturaleza, están consideradas como los seres vivientes más primitivos. Las Bacterias con clorofila (Chlorobacteriales) serían de origen más reciente. < <

[14] El orden de enumeración de estas especies no tiene nada de filético. La apodia se ha puesto de manifiesto en 11 familias de lagartos, en los Anfisbénidos y serpientes, algunas de cuyas especies poseen vestigios de miembros (*Bipes* en los primeros, *Boa* en los segundos). < <

[15] E. HAECKEL ha hablado de la ley biogenética fundamental en varios de sus escritos. He aquí el modo en que la enunció por vez primera en su *Generelle Morphologie*, 1866, t. II, p. 300: «La ontogénesis es una repetición, una recapitulación breve y rápida de la filogenia, conforme a las leyes de la herencia y la adaptación». <<

[16] El lector no zoólogo encontrará largas y fastidiosas las páginas que describen la historia de los Reptiles que precedieron a los Mamíferos. Preferimos correr este riesgo antes que ceder a la comodidad. Deseamos mostrar, a través de los hechos, lo que es realmente el nacimiento de un gran tipo de organización. Es el mejor medio de poner en evidencia el desarrollo entre lo real y lo teórico. < <

[17] Para una clasificación de los Reptiles, véase más adelante. < <

[18] Puesto que los Mamíferos forman una clase, deberíamos, en buena lógica, dar a los Terápsidos un rango sistemático superior y, sin embargo, éstos (considerados dentro del conjunto de los Reptiles), sólo constituyen un orden. La jerarquía sistemática se esfuma en la perspectiva evolutiva. < <

[19] No hablaremos ni de los Anomodontos, ni de los Titanosuquios (clasificados próximos a los Gorgonopsios), que han permanecido ajenos a la historia de los Mamíferos. < <

[20] Los Ptinosuquios se clasificaban antes entre los Teriodontos, en el suborden de los Gorgonopsios. < <

[21] Esta evolución progresiva hacia los Mamíferos ha sido más claramente observada en tres grupos de Terápsidos carnívoros: Terocéfalos, Bauriamorfos y Cinodontos. Cada uno de ellos, en un momento u otro, ha sido considerado como antepasado de algunos o todos los Mamíferos. < <

[22] Disponemos de una parte importante del esqueleto de tres géneros: *Tritylodon* (Trías superior), de África del Sur; *Bienotherium* (Trías superior), de China, y *Oligokyphus*, de Europa (Retiense superior, Charmoutiense). < <

[23] Antes se pensaba que los Tritylodondos y los Multituberculados pertenecían a una misma subclase de Mamíferos; las investigaciones de WATSON (1942) han mostrado que esta opinión era errónea. Los parecidos entre Tritylodontos y Multiberculados eran sólo superficiales. < <

[24] Se ha demostrado recientemente que los Terocéfalos más primitivos (Pristerognátidos) poseían ya el esbozo de un paladar óseo secundario y dos caninos a cada lado de la mandíbula superior, afirmando así sus claras tendencias de Mamífero (MENDREZ, 1972). < <

[25] Las opiniones acerca del origen de los Ictidosaurios están divididas. HOPSON y CRAMPTON (1969) los hacen proceder de los Cinodontos sin hacer precisión alguna acerca de sus antepasados. <<

[26] El paladar secundario (o techo bucal secundario) está formado por cuatro apófisis en láminas horizontales desplazadas hacia el lado interno por los huesos maxilares superiores y palatinos. Este dispositivo anatómico no solamente caracteriza a los Mamíferos, ya que existe también en los cocodrilos, en los que se compone de apófisis palatinas desplazadas por los huesos premaxilares, maxilares, palatinos y pterigoides. Está perforado delante por el foramen maxilar y lateralmente por las *foramina palatinae*. Los vomerianos participan en la constitución del paladar de los cocodrilos de los géneros *Melanosuchus* y *Tomistoma*.

Así, este paladar secundario surge en un grupo que, sin embargo, no tiene afinidad alguna con los Mamíferos. La separación de la cavidad bucal y de las fosas nasales tenía la misma utilidad para los otros grupos de Reptiles, sobre todo los acuáticos. Se pretendió que la formación del paladar secundario estaba ligada a la masticación de alimentos y a la heterodoncia (ver VANDERBROECK, 1969, p. 256). Tal relación no existe, por descontado, en los cocodrilos. Señalemos que varios géneros de Anomodontos (los Dicinodontos en particular) tienen un paladar muy desarrollado en la región anterior del techo bucal; sin embargo, no se encuentran entre la ascendencia de los Mamíferos. < <

[27] La marcha hacia el idiomorfo equino prosigue en los Paleoterios, que desaparecieron demasiado pronto como para que la monodactilia llegara a ser total o sólo funcional. < <

[28] Los Haramydos, conocidos tan sólo a través de dientes aislados, no pueden ser clasificados con precisión. < <

[29] En los Terios más antiguos (Eupantoterios), el número de dientes es muy elevado: *Amphitherium* (Batoniense de Inglaterra), 32 en la mandíbula inferior; *Dryolestes* (*Laolestes*) (Formación de Morrisson, Wyoming, EE. UU.), 34, también en la mandíbula inferior. precoz de los molares posteriores son caracteres de los Cinodontos. < <

[30] Howell (1937), que es una autoridad en la materia, ha escrito: «El hombro de los Monotremas debe ser considerado como la expresión de un tipo reptiliano altamente especializado», p. 191. <<

[31] SIMPSON (1928, 1959), OLSON (1944) y otros paleontólogos fueron partidarios del polifiletismo de los Terios. A lo largo de los últimos años ha habido un cierto cambio en las opiniones; así, HOPSON y CROMPTON (1969) se inclinan a favor del monofiletismo, pero KERMACK (1967) se ha pronunciado por el difiletismo. ROMER (1970) mantiene una actitud prudente, no optando abiertamente ni por lo uno ni por lo otro. SIMPSON (1971), sin recordar su antigua posición, se escabulle, jugando con la definición de Mamíferos y con el momento de su aparición. < <

[32] No hablamos de Bacterias cultivadas en un medio cerrado, sino de las que viven en un medio natural y cuya población no está sometida al freno o la inhibición que imponen el agotamiento del medio nutritivo y la presencia de excrementos. La muerte de las poblaciones es, a menudo, consecuencia de esas condiciones desfavorables. < <

[33] Las Esquizofitas, organismos sin núcleo, se reproducen por división binaria (sin mitosis); comprenden a las verdaderas Bacterias o Eubacteriales (Bacilos, Vibrios, Espirilos, *Pseudomonas*, Actinomicetos…), a las Mixobacterias, a las Espiroquetas y a las algas azules o Cianofíceas. < <

[34] Si estuviera probado que los Conodontofóridos son Cordados, habría que trasladar la aparición de los primeros Vertebrados, o al menos de sus antepasados, al Cámbrico. Emmonsaspis, descubierto en la pizarra de Parker (Cámbrico de los Apalaches), sería un Cefalocordado arcaico. Esto resulta poco probable. < <

[35] A lo largo de su dilatada historia, los Insectos han perdido tres superórdenes: Paleodictyópteros (con siete órdenes diferentes), Megasecópteros y Protoortópteros, que vivieron durante el período Pérmico-carbonífero. Todos los demás superórdenes han sobrevivido y siguen prosperando. < <

[36] La clasificación que adoptamos es la que fue establecido por MARTYNOV (1938). Está fecundada, como debe ser, tanto en datos de la paleontología como en los de la anatomía comparada. (Véase JEANNEL, *Traité de Zoologie*, 1949, t. IX, Edit. Masson). < <

[37] Los Insectos del Cretácico, a juzgar por los fósiles encontrados en el Ámbar de Manitoba, evocan grandemente la fauna entomológica de la Era Terciaria y de nuestros tiempos. < <

[38] Un ejemplo de microevolución rápida y reciente lo suministran los ratones de campo del género *Microtus*, que han surgido de una especie común, *Allophalomys pliocaenicus*, cuyos restos han sido encontrados en sedimentos que datan del final del Villafranquiense (menos de 1.000 000 de años). Pequeñas variaciones, clasificadas arbitraria y subjetivamente en diversas categorías, han hecho pasar, poco a poco, a los animales del género *Allophalomys* al género *Microtus*, uno de los más ricos en especies de hoy en día (más de 90 especies y 240 subespecies). El género *Microtus* es paleártico; penetra en Méjico y en África del Norte. Los espacios herbosos constituyen su hábitat preferido (CHALINE, 1972, 1973). < <

[39] Miembro característico de los Vertebrados ambulantes (Tetrápodos), compuesto de segmentos sucesivos y articulados entre sí: Miembro anterior; antebrazo* (húmero), brazo (cúbito y radio), muñeca (carpo), palma de la mano (metacarpo) y dedos; miembros posteriores, muslo (fémur), pantorrilla (tibia y peroné), tobillo (tarso), planta del pie (metatarso), dedos. El número básico de dedos es de cinco por miembro.

* *Normalmente sería al revés, es decir: antebrazo (cúbito y radio) y brazo (húmero), pero respetamos el orden del original*. < <

[40] Los Seymouriamorfos son indudablemente Anfibios. En el cráneo de algunos ejemplares de *Seymouria* se han observado trazas de surcos sensoriales, órganos considerados como propios de Peces y Anfibios. < <

[41] Este carácter, muy arcaico, dado que existe en *Ichthyostega*, se encuentra en los Reptiles cotilosaurios. < <

[42] Hay que recordar que en toda célula diploide, es decir, de $2n$ cromosomas, n proceden del padre y n de la madre. Los n cromosomas difieren los unos de los otros; cada uno tiene su aspecto particular y su carga de genes que le son propios. Así, en la célula, el cromosoma A está presente por partida doble, una de origen materno y otra de origen paterno. Estos dos cromosomas A son llamados homólogos y constituyen un par. Si tienen la misma constitución génica se les llama *homozigóticos*; si difieren en uno o varios genes, se les llama *heterozigóticos*. Lo mismo ocurre con los demás cromosomas, a excepción de algunos cromosomas sexuales que no tienen homólogos. Las dotaciones cromosómicas serán para el macho $=2n$ cromosomas ordinarios o autosomas + XY cromosomas sexuales (=heterocromosomas), y para la hembra $2n$ + XX. Éste es el caso de la especie humana. Existen otras combinaciones en los animales y las plantas. < <

[43] El intercambio de segmentos entre dos cromosomas (fenómeno de entrecruzamiento o «crossing-over») contribuye, en cierta medida, a producir nuevas combinaciones génicas. (*Véase bibliografía sobre Genética*). < <

[44] *El hombre, ese dios en miniatura*, Hermann Blume Ediciones. Madrid, 1977, pp. 23 y ss. < <

[45] El mecanismo de la mutagénesis es aún poco conocido. Que el agente ionizante o químico golpee el ADN como una flecha la diana, o que actúe de un modo indirecto, es de poca importancia para nuestro propósito. Nos basta con saber que después de su intervención el ADN no da ya una réplica exacta a sí mismo en todos sus puntos. < <

[46] Las mutaciones espontáneas han sido atribuidas a la radiactividad natural. Es una hipótesis como tantas otras; se le puede conceder su verosimilitud, pero no está demostrado su fundamento. < <

[47] Por ejemplo, en el hombre, el enanismo acondroplásico aparece por mutación una vez por cada 12 000 nacimientos (encuesta realizada en Copenhague sobre 94 000 niños). La tasa de mutación de la «hemofilia», sería del 1 por cada 33 000 gametos. La luxación congénita de la cadera, la acromatopsia, el albinismo, etc., son también mutaciones que aparecen esporádicamente en el seno de las poblaciones humanas. Los médicos, los veterinarios y los agrónomos conocen bien estos hechos, que para ellos son de constatación corriente y que están siendo seriamente considerados por los eugenistas. < <

[48] Hay que comprender bien que el rechazo de la evolución orientada conduce inmediatamente al de las evoluciones progresiva, regresiva o coordinada. El paleontólogo SIMPSON no duda en rechazarla cuando habla como teórico; pero cuando se atiene a lo real, trabaja como paleontólogo que conoce su profesión, busca líneas evolutivas, a continuación las *clasifica en función de sus tendencias*. La fuerza de la teoría no llega a ocultarle totalmente lo concreto.

¿Cómo se habrían formado sin esbozos ni estados previos imperfectos las alas del insecto y del pájaro? La idea de verlas surgir, de golpe, ya funcionales y por azar es, como mínimo, ridícula.

No está de más recordar que la invención en biología, por lo que sabemos de las mutaciones, no es nunca productos de una variación genética; no es efectiva sino tras la coordinación de sus partes. El conjunto forma un todo funcional, gracias a la coordinación de sus partes. Concreta un plan cuyo origen ignoramos y que la selección natural no puede trazar y menos aún realizar, a falta de materiales convenientes.

La oposición sistemática que SIMPSON, prácticamente en solitario, ofrece a la evolución orientada, aboca finalmente a la negación de la evolución: en el mundo viviente todo estaría entregado al azar, se haría de cualquier modo y en cualquier momento. SIMPSON, sin darse cuenta, nos propone el caos cuando el mundo viviente ha evolucionado en el orden y se perpetúa en el orden. < <

[49] La drepanocitosis, debida a una hemoglobina anormal, probablemente de origen mutacional, a pesar de su carácter patológico, protege al hombre contra el paludismo. < <

[50] Pág. 124, tomo II de *La vida y la correspondencia de Charles Darwin* (*Charles Darwin. Life and Letters*), por su hijo Francis Darwin. < <

[51] DARWIN (1859) consagra cuatro páginas y media del *Origen de las Especies* al ojo y su posible génesis, gracias a innumerables variantes, por selección natural en el transcurso del tiempo. Pero puede constatarse que no supera ninguno de los obstáculos que la realidad opone a su doctrina. < <

[52] Redactamos esta página como si la selección fuera una entidad activa: pedimos al lector que nos excuse. Pero al hacerlo tomamos prestado de los darwinistas su lenguaje y sus conceptos. < <

[53] En una obra reciente (1972), G. SALET, recurriendo a métodos matemáticos, juzga con pertinencia y severidad el evolucionismo aleatorio. Aunque no compartamos en absoluto las concepciones biológicas y filosóficas del autor, que no es biólogo, aconsejamos su lectura a los que se interesen por el tema, del papel que pudo desempeñar el azar en la génesis del mundo viviente. < <

[54] Léanse, sobre todo, las páginas 413 a 424 de *biologique L'Évolution*
, por L. CUÉNOT y A. TÉTRY. < <

[55] La preadaptación no tiene siempre los efectos que se le atribuyen. Si es cierto que en la orilla del mar y en las islas las especies de Dípteros sin alas son más numerosas que en otras partes, porque ofrecen menos resistencia al viento, existen regiones que, aunque barridas por el viento, sólo cuentan con moscas aladas; tal es el caso de los desiertos rocosos saharianos, donde nada detiene el simún y los vientos de arena.

En la isla de San Pablo, en pleno Pacífico Sur, todos los Dípteros son alados. Dada la frecuencia en los Dípteros de la mutación áptera, es difícil admitir que ésta no haya aparecido en las poblaciones de la isla. Este estado de cosas se explica muy simplemente; cuando el viento sopla por encima de una cierta velocidad, el insecto se pone a cubierto. Todos los entomólogos que han cazado en la garriga mediterránea saben bien que ningún insecto vuela cuando sopla el fuerte mistral. < <

[56] El estudio matemático de la selección natural ha tentado a algunos matemáticos, de los que el más conocido es Volterra, y a biólogos como FISCHER (1930), HALDANE (1924-1932), TEISSIER (1958), SEWAL WRIGHT (1969), KIMURA y OHTA (1971). El lector que desee conocer su trabajo deberá consultar las publicaciones de estos autores; encontrará las referencias principales en la bibliografía que acompaña a este libro.

No hablaremos de la ley de Hardy-Weinberg si no para mostrar la distancia que separa la teoría de la realidad: ha sido enunciada de diferentes maneras y elegimos la siguiente: «En una gran población estable, en que las copulaciones se efectúen al azar (panmixia), en que la selección no se ejerza y en que las mutaciones no se produzcan, la proporción de los diferentes genes y genotipos permanece constante en las generaciones sucesivas».

Esta ley no concierne a las condiciones reales; es un estado ideal. Por esta razón, interesa poco al evolucionista, que debe considerar lo concreto, lo existente y no lo ficticio. Los genéticos de poblaciones la utilizan como término de comparación entre lo que observan en las poblaciones en cultivo y la estabilidad teórica, lo que permite la introducción de nuevos parámetros y coeficientes en la fórmula primitiva y el cálculo de las proporciones génicas en condiciones de inestabilidad. < <

[57] En los tanques de cultivo donde se desarrollan las larvas de *Drosophila*, «el factor selectivo… supone una competencia muy dura por el alimento». En la naturaleza, esta rivalidad es probablemente menos fuerte, pero los frutos en fermentación (salvo en otoño, en las regiones vinícolas), no son muy abundantes y probablemente numerosos adultos mueren sin haberlos encontrado y, como consecuencia, sin dejar descendencia. Estos muertos debidos al azar no tienen valor selectivo. < <

[58] El término evolución está tomado aquí en el sentido de historia, de ciclo y no de evolución en el sentido transformacionista. < <

[59] CH. DARWIN, *Origen de las especies*. Ejemplos de selecciones naturales y persistencia del más apto. < <

[60] Excepto en ciertos cálculos de orden estadístico. < <

[61] Para ser objetivos digamos que esta interpretación no está admitida por todos los biólogos; algunos explican estos hechos (resistencia, retorno a la sensibilidad) por factores extracromosómicos (COCHRAN, GRAYSON y LEVITAN, 1952; RAMADE, 1967) y no por mutantes preadaptados. < <

[62] La domesticación o más bien el condicionamiento de algunos animales se habría emprendido, según los historiadores, desde el Paleolítico superior. Pero esto no está probado. < <

[63] Esto no es fruto de la imaginación; en el Neolítico vivían varias razas de perros domésticos (*véase más adelante*). < <

[64] La domesticación de las palomas se remonta a una época muy lejana. Este ave era conocida en Mesopotamia hace alrededor de 6500 años, ya que se han encontrado en Irak figurillas de arcilla representándola (época halafiense). < <

[65] *Reverse*, palabra inglesa que significa opuesto, inverso. < <

[66] Para seguir el curso de la destrucción de las grandes Aves ápteras de las islas del océano Índico, ver libro STRICKLAND y MALVILLE, *The Dodo and its kindred*, London, 1848.

Raphus cucullatus, de la isla Mauricio; *Raphus solitarius*, de la de Reunión; Solitario, de la isla Rodríguez (*Pezophaps solitarius*), han sido destruidos por los europeos que han colonizado esas islas. En su libro *Extinct Birds*, 1907, lord ROTHSCHILD proporciona gran cantidad de información sobre las especies de Aves extinguidas y sobre las causas de su desaparición. < <

[67] Pág. 334, *Études de la Nature*, t. 4 de las «Obras Completas», edición de 1823, París. < <

[68] A quien lo dude le expondremos la lista de interpretaciones propuestas por los paleontólogos sobre los diversos tipos de Dinosaurios gigantes en cuanto a su ecología y su etología. La última, debida a B. H. NEWMAN (1968), concierne al Dinosaurio carnívoro *Tyrannosaurus*, que habría tenido una actitud inclinada más que erecta, siendo la parte rígida de su columna vertebral horizontal, balanceándose la cola sobre el suelo y no siendo el tercer apoyo de un trípode que soportara al animal. Éste se habría servido de los miembros anteriores, muy reducidos para elevar su masa desde el suelo. Las huellas dejadas por este enorme animal muestran que los pasos eran cortos y la marcha sinuosa, como la de un ave. *Tyrannosaurus* sería un carroñero que marchaba balanceándose. Todo esto en espera de otra interpretación. < <

[69] Efecto fenotípico múltiple de un gen. < <

[70] A. WEISMANN, *Essais sur l'heredité*, trad. francesa, p. 399, 1892. < <

[71] Se podría objetar que, en el hombre, estos caracteres intervienen en la selección por su valor estético (positivo o negativo) que les concedemos. No parece en absoluto así; la diversidad de narices no disminuye en nuestras sociedades. < <

[72] No parece que todos los genes sean igualmente variables. La evaluación de variantes posibles hecha según el número de nucleótidos y su composición en bases no tiene probablemente más que una significación teórica. En este dominio, la prudencia debe ser la regla; puede ser que algunas alteraciones que son inmediatamente incompatibles con la vida sean de observación difícil, porque el huevo muere poco después de haber sido fecundado. < <

[73] La dominancia, con sus más y sus menos, resulta de la reacción que se produce entre los genes de una pareja alélica. < <

[74] Sería aún más demostrativo proponer como modelo los mecanismos inmunitarios, pero son tan complicados que su exposición, incluso abreviada, complicaría en exceso un texto ya cargado. < <

[75] La presencia en una población bacteriana de individuos preadaptados a resistir a un virus o a destruir una droga con la que nunca han estado en contacto, debería ser rara. Lo es, efectivamente, en la mayoría de los casos. Pero hay sorprendentes excepciones. Antes de 1958, la mayor parte de las cepas de gonococos eran inhibidas por la penicilina en dosis de
0,2
unidades por cc de cultivo. Hoy son necesarias al menos
0,5
. Esta tendencia a la resistencia se extiende también a otros antibióticos. Se ha creído que las tetraciclinas tendrían una acción curativa más duradera; no ha sido así; la resistencia a estas drogas ha aumentado aún más rápidamente que contra la penicilina. En 1965, las concentraciones inferiores a
0,5
mcg por ml, inhibían al 77 por 100 de los cultivos probados; sólo un 1 por 100 requería concentraciones superiores a 1 mcg/ml. Pero en 1970,
0,5
mcg/ml no inhibía más que un 16 por 100 de las cepas, y el 27 por 100 exigía más de 1 mcg/ml Una cepa estudiada en 1970 continuaba creciendo después de una exposición no sólo a la tetraciclina en una concentración de 3 mcg/ml, sino también a las doxyciclina, compuesto análogo a la tetraciclina y muy utilizado (ver D. J. SENCER, *Annual Review of Microbiology*, 1971, pp. 465-486). Esto se repite con respecto a las sulfamidas, que hace un cuarto de siglo hacían maravillas contra los gonococos.

La resistencia a todas estas drogas no deja de ser sorprendente. ¿Entran en la cuestión sólo individuos preadaptados? Es posible, pero querríamos tener la certeza. < <

[76] Las especies de géneros diferentes se dice que explotan nichos ecológicos diferentes y, como consecuencia, no entran en competencia. < <

[77] La fauna cavernícola cuenta con un número muy elevado de especies endémicas, de las que no es fácil decir si se trata de paleoendémicas refugiadas en asilos o de neoendémicas, especies recientemente individualizadas en una zona geográfica de dimensión media.

Las especies de *Speonomus*, género que puebla sólo las dos vertientes del Pirineo con representantes en Cerdeña, tienen áreas de repartición poco extensas: *Speonomus delarouzei* no ha sido encontrado más que en las grutas de los Pirineos orientales, *Sp. longicornis, Sp. pyrenaeus* y *Sp. abeillei* en Ariege, *Sp. alexinae* en los Pirineos atlánticos, etc. Esto es cierto para la mayor parte de los géneros de Batiscíneos < <

[78] Es difícil afirmar que en tal o cual especie las copulaciones se efectúan al azar. Por ejemplo, la *Drosophila* hembra, considerada antiguamente como practicante de una panmixia total, elige, por el contrario, su pareja en función de estímulos específicos. < <

[79] El hombre, ese hacedor de finalidad, por medio de sus utensilios, sus aparatos, prolonga de alguna manera la finalidad de sus órganos y la lleva fuera de los límites naturales. < <

[80] Las funciones soportan con dificultad las variaciones aleatorias; el desorden fisiológico crea lo patológico y conduce a la muerte. La desviación funcional tiene más importancia para el porvenir del individuo y de la línea que la variación formal. < <

[81] La sensación no va siempre seguida de una respuesta adaptativa; tal es el caso de las reacciones tropísticas, el ejemplo de las mariposas atraídas y quemadas por la llama es demasiado conocido para que haya que insistir en él.

El tropismo, o mejor, taxia, en sentido puro, es decir, no integrado a una conducta organizada (complejo instintivo), es un fenómeno que se produce raramente en la naturaleza. Integrado, es sólo un elemento adaptado a una conducta «finalizada» (fototaxia positiva, hacia el sol, de las hormigas y termitas de enjambre, que las empuja fuera del nido a cubrir trayectos bastante largos). Ver RASSÉ y NOIROT, *Sociotomie*, 1951. < <

[82] En los Teriodontos se podría hablar, como lo hizo CUÉNOT para otros animales, de *órganos proféticos*, cuya génesis es debida, sobre todo, a factores internos. < <

[83] Aquí también es preciso entenderse: la mayoría de las veces no se trata de necesidad, sino de utilidad. El estado heterozigótico de las poblaciones naturales lo demuestra. < <

[84] En realidad, no sabemos si la célula procede de Bacterias o de Cianofíceas; ningún dato paleontológico nos permite decidir entre los dos grupos (ver capítulo I). < <

[85] Recordemos que se suelen repartir los seres vivos en dos grandes conjuntos: uno, el de los *Acariotas*, que no poseen núcleo de membrana definida que encierre a los cromosomas, contiene, en el seno del citoplasma, una macromolécula de ADN cerrada sobre sí misma; los Acariotas no tienen ni mitocondrias ni aparato de Golgi; engloban a las Bacterias y a las Cianofíceas (llamadas a menudo y abusivamente algas azules); el otro conjunto, *Eucariotas*, tiene como unidad anatómica fundamental a la célula, con un núcleo limitado por una membrana perforada, pero bien materializada, que contiene varios cromosomas que encierran macromoléculas de ADN, mitocondrias y un aparato de Golgi. < <

[86] J. MONOD, *El azar y la necesidad*, p. 140, 1971. <<

[87] Hasta ahora no ha sido encontrado ningún fósil intermedio entre los Crosopterigios rifidistinos y los más antiguos Anfibios conocidos, los Ichthyostegalianos. Esta falta de documentos deja el campo libre a la hipótesis. < <

[88] Se atribuye abusivamente a AVERY (1944) el descubrimiento del ADN, material genético de todos los seres vivos: de la Bacteria a los Mamíferos. En realidad, el papel de los cromosomas en la herencia era bien conocido antes de que AVERY hubiera iniciado sus investigaciones. Los trabajos de SUTTON (1903), de BOVERI (1902-1914)
y de muchos otros lo prueban. Desde la introducción en la citología de la detección del ADN por la reacción nuclear de FEULGEN (1918) se sabía perfectamente que el ADN es la sustancia característica de los cromosomas del ser celular y de los nucleoides de la Bacteria. AVERY lo ha confirmado, pero no descubierto. El detalle histórico de los trabajos que conciernen a los cromosomas y sus funciones puede hallarse en E. B. WILSON, *The cell in development and heredity*, N. Y., 1925, cap. XII. < <

[89] BEERMANN (1972) asimila a un cistrón (= *grosso modo*, un gen) cada conjunto banda clara-banda oscura de los cromosomas salivares gigantes de *Drosophila* y de los Quinoromos. Cuenta de 5000 a 10 000, evaluación demasiado imprecisa para comportar una enseñanza. El mismo autor dice que cada banda de un cromosoma gigante se compone aproximadamente de 20 000 pares de nucleótidos. El número de filamentos de ADN aumenta de un estadio de la larva a otro (multiplicación endomitótica de los cromosomas). La cifra dada por BEERMANN concierne probablemente a cromosomas pertenecientes a larvas del último estadio. < <

[90] En algunas especies se constituyen subespecies «cromosómicas». A título de ejemplo citemos el *Gryllotalpa gryllotalpa*: Norte de Europa, 12 cromosomas; Rumanía, 14; Sur de Italia, 15. Las especies vecinas, *Gryllotalpa africana* y *G. borealis* poseen 23 cromosomas. < <

[91] No se debe perder de vista que todo cromosoma, ya sea de planta o de animal, contiene una macromolécula de ADN asociada a proteínas, entre las cuales están las histonas (el núcleo de las Peridíneas [Protofitas] no posee histonas). La proporción de ADN es el 15 por 100 de la masa del cromosoma. La ultraestructura de los cromosomas es desconocida. Los fijadores de que disponemos, aunque numerosos, no la conservan. La mayoría de las publicaciones que se refieren a ella describen «artefactos» y no realidades. Nuestra ignorancia sobre las relaciones entre las moléculas de ADN, de ARN y las proteínas en el cromosoma hace difícil la comprensión del mecanismo por el cual son activos los genes. < <

[92] A título indicativo, he aquí algunas cifras referentes al orden Primates:

Lemur, 44 a 60;
Hapalemur, 54 a 58;
Galago, 38 a 62;
Cebus, 54;
Ateles, 34;
Macaca, 42;
Papio, 42;
Cercocebus, 42;
Cercopithecus, 54 a 72;
Hylobates, 44;
Symphalangus, 50;
Pongo, 48;
Pan, 48;
Gorilla, 48;
Homo, 46. < <

[93] El picogramo (*pg*) vale una mil millonésima de miligramo. < <

[94] El modelo propuesto por BRITTEN y DAVIDSON es puramente imaginario, tanto en su estructura como en su papel. A cualquiera le es lícito imaginar otro, que sería igual de lógico y verosímil. Este juego de la imaginación sería inocente si algunos biólogos no lo tomaran como verdad demostrada. El capítulo redactado por M. GOODMANN y sus colaboradores en *Evolving primate genes and proteins*, en la obra colectiva *Comparative genetics in Monkeys, Apes and Man*, aporta una prueba escrita de esta confusión entre la ciencia ficción y la realidad. < <

[95] En las secuencias redundantes se intercalarían mutantes; así, genes originales y mutados coexistirían en la misma serie. < <

[96] KOHNE y col. (1970) suponen que algunas secuencias de ADN no ejercen ninguna función. Estiman, por razones que no vemos claramente, que estas secuencias, al no sufrir más que mutaciones neutras (?) no influyen en la selección. Esto se ha dicho también de los segmentos cromosómicos heterocromáticos. < <

[97] La reaparición de los dedos II y IV o *polidactilia atávica* no parece tener ninguna relación con la duplicación o triplicación del dedo III, debida probablemente a una división del esbozo embrionario del miembro (esquizodactilia). < <

[98] Algunos anatomistas, por intuición, suponen que los antepasados de los Artrópodos poseyeron un par de apéndices de un tipo poco diferenciado, pero ambulatorio, por segmento. < <

[99] Las agallas vegetales muestran hasta qué punto la célula y sus gérmenes son sensibles a las acciones exteriores. Las sustancias segregadas por el insecto que las produce inducen siempre la misma reacción originadora de una estructura coherente y sin relación con la que habrán construido las células de la planta huésped sin la intervención del Insecto. Los genes no cambian, pero los productos de su actividad sí. El medio celular en el que operan los genes tiene, por tanto, una importancia que no debe subestimarse. < <

[100] Incluso, dice, recurriendo a la panmixia. < <

[101] Los Anfibios son muy imaginativos en materia de reproducción y adoptan soluciones inesperadas por no decir «ilógicas». He visto en Amazonia las enormes bolas de mucus espumoso en las que se desarrollan los huevos de algunas ranas (*Phyllomedusa*) arborícolas; estas bolas son depositadas en las riberas de los riachuelos permanentes. Después de su eclosión, los renacuajos deben alcanzar (difícil prueba) el riachuelo, donde terminarán su desarrollo. Todo sería más simple si los huevos fueran sumergidos directamente por la madre, como hacen frecuentemente los Anfibios anuros. Pero las ranitas no siguen nuestra lógica. < <

[102] Y también como la novedad más importante que concierne al papel del virus en la génesis de los cánceres. Varios virus ARN que dan réplicas ADN son cancerígenos. < <

[103] Los fenómenos de replicación de virus, de transcripción al ADN de una información de origen ARN, y otros muchos, sólo están parcialmente explicados. No hay que hacerse demasiadas ilusiones sobre el valor de las interpretaciones que se han dado. < <

[104] La información en un ser organizado no está en absoluto localizada como en un ordenador. Cada célula, es decir, cada ejecutante, la contiene en su totalidad. Tantas células, tantas «bibliotecas». El sistema nervioso tiene por principal función tratar la información procedente del mundo exterior. De todas maneras, el código genético está, en parte, bajo su influencia indirecta. Estas consideraciones tienen por objeto hacer patente la inmensa fosa que separa un ser viviente de una máquina electrónica, ordenador o autómata construidos por el hombre. Las líneas cibernéticas no son las mismas en lo viviente y en lo no viviente. Las analogías se refieren a las partes y no al todo. < <

[105] DARWIN (1868) no supo reconocer la constancia de los jordanos de *Viola*. WITTROCK (1903), que continuó el estudio de Viola tricolor, confirmó la «absoluta fijeza de esos tipos de Viola». NAUDIN, que cultivó las «especies elementales» de *Erophila verna*, constata que después de diez años de cultivo esta planta se había subdividido en diez elementos, en veinte años, en más de 50, y en treinta años, en más de 200. Añade NAUDIN: «Es incontestable que un buen número de especies linneanas, si no todas, son sólo ensamblajes de formas afines, a menudo numerosas. Los cultivos de JORDAN prueban que las especies elementales existen y conservan su autonomía sin confundirse y sin hibridarse, como conviene a las buenas especies…». Nos parece que las «formas afines», las «especies elementales» de que habla NAUDIN son mutantes. < <

[106] Toda ontogénesis es la puesta en acción de una información cuyos mensajes se emiten siguiendo un «horario» muy preciso. Del organizador emana una sustancia que al difundirse crea un gradiente de concentración cuyo valor va disminuyendo a medida que se separa de la fuente emisora. Esta interpretación tiene por origen los trabajos de SPEMANN y de sus discípulos. Se han propuesto otras hipótesis, pero son menos plausibles y no tienen el apoyo experimental de la primera. El modelo de GOODWIN-COHEN, basado en la comparación con un estimulador cardíaco, poseería una fuente que emitiría periódicamente señales químicas; se trata de una hipótesis que se apoya en las migraciones y aglomeraciones de amebas de Mixomicetos: una ameba emisora enviaría rítmicamente bocanadas de algunas sustancias a las que responden, por una quimiotaxis positiva, las amebas receptoras, pero no se trata, en este caso, de una diferenciación celular. < <

[107] Los trabajos de RUDKIN (en BEERMANN, 1972) sobre la replicación de los cromosomas salivares de Dípteros apoyan claramente nuestras interpretaciones. Según este autor, la replicación de estos cromosomas no se opera en bloque, sino por sectores, que son *unidades de replicación*, cuyo número alcanzaría varios millares. A cada unidad (cistrón) correspondería una polimerasa particular. Pero no es seguro que esta enzima sea la única que interviene. No es la misma que provoca, en el momento de la mitosis bajo todas sus formas, incluso la endomitosis, la escisión de todas las moléculas de ADN cromosómico y la duplicación del número de cromosomas (a nivel de cada hemimolécula de ADN, en el momento de la mitosis, se forma la hemimolécula complementaria del mismo ácido nucleico).

La actividad selectiva de los cistrones ha sido constatada *de visu* no sólo en los cromosomas gigantes de los Dípteros, sino sobre la cinta de ADN del Colibacilo (MILLER, HAMKALO y THOMAS, 1970). El ARN ribosómico (ARNr) es sintetizado simultáneamente por los cistrones 16 S y 23 S, gracias a un número bastante considerable de moléculas de ARN-polimerasa; esos dos cistrones ocupan dos lugares alejados el uno del otro. < <

[108] MILLS, KRAMER y SPIEGELMAN (1973), utilizando una secuencia nucleotídica de un ARN procedente del bacteriófago φα parásito del colibacilo, y capaz de reproducirse *in vitro*, han intentado reproducir lo que pudo ser la evolución precelular (*sic*) (prebiótica sería un término más adecuado a los datos de sus experiencias). Aportan hechos que instruyen sobre las relaciones de algunas secuencias de ARN ante diversas sustancias: alargamiento, acortamiento en segundo o tercer grado, pero cuya relación con la evolución no es evidente.

Yendo mucho más lejos, MILLS *et al.* imaginan los factores selectivos que actúan sobre los diferentes tipos de cintas de ARN. Como biólogo, no veo cómo en un sistema fisicoquímico inerte se pueden descubrir los factores favorables a una evolución venidera y deducir los modos de acción de la selección. Retendremos del estudio en cuestión que las secuencias de ARN se modifican en función del medio en el que están situadas, y esto, claro está, no carece de interés. Pero MILLS no tiene *ninguna* garantía de que sus experiencias repitan, de alguna manera, una fase evolutiva de los «prebiontes». < <

[109] El ácido nucleico es el ADN, cuando el ADN realiza su propia replicación. < <

[110] Los nucleótidos son de cuatro clases, según la base que contengan (adenina, citosina, timina, guanina). En el ARN la timina puede ser reemplazada por el uracilo. < <

[111] Se define el *cistrón* como la unidad genética funcional más pequeña. < <

[112] Las técnicas de detección utilizadas son las de la citoquímica. Para estar seguro de que el ADN o los ARN no intervienen, habría que recurrir al empleo de marcadores radiactivos, lo cual no se ha hecho. < <

[113] El lector deseoso de conocer los detalles de la síntesis, leerá con gran provecho la obra de DAVIDSON (1972) sobre la bioquímica de los ácidos nucleicos. < <

[114] De todas maneras, GOULIAN, KORNBERG y col. (1967) han sostenido que para obtener una molécula de ADN completamente formada (doble cadena) hace falta añadir a la polimerasa otra enzima, la polinucleotidoligasa, que enlaza las extremidades libres de la molécula. El ADN utilizado como modelo procedía de un fago ΦX174 DNA. El ADN sintetizado *in vitro* sería infeccioso. La mayoría de los bioquímicos no aceptan sin reserva estos resultados. Sería de desear que otros investigadores, utilizando otros materiales, los confirmaran. < <

[115] El virus SV 40 (*simian virus*) ha sido descubierto en los cultivos de tejido renal de los Macacos de origen indio. < <

[116] Se trata de la α-D-galactosa-l-fosfato uridil transferasa. < <

[117] Animales sin cavidad celómica. < <

[118] Para diversos zoológos, Briozoos y Braquiópodos son tipos diferentes. Pensamos lo mismo, pero seguimos aquí la opinión clásica. < <

[119] El signo † significa que el grupo es conocido en estado fósil. <<

Notas de la traducción

[1] *Poríferos*. < <

[2] *Dado que en los textos en castellano el término aparece indistintamente como somitas, somitos o somites, adoptamos la acepción de somitas, siguiendo a R. T. Orr.* <<

[3] *La familia Eothyridae, que probablemente sea artificial, agrupa una serie de formas primitivas, claramente depredadoras con caninos muy desarrollados. Véase* Paleontología, *de B.* MELÉNDEZ, *tomo 2.* < <

[4] *Dado que el autor da el nombre genérico lo hemos respetado, pero el único género de la familia Ichtidosuchidae* (WATSON y ROMER, 1956) *es* Ictidosuchus, *caracterizado por tener una cresta parietal bien desarrollada (véase* Paleontología, de MELÉNDEZ, *t. 2)*. <<

[5] *B. Meléndez considera a los Phthinosuquios un grupo artificial, si bien con ciertas analogías, probablemente debidas a un grado horizontal de evolución más o menos equivalente, a partir de antecesores Pelicosaurios.* < <

[6] *Tanto los Polyneópteros como los Oligoneópteros y los Paraneópteros constituyen un taxón que suponemos de reciente acuñación, o alternativamente muy antiguo, ya que los Insectos en la sistemática habitual constituyen una clase dentro de los Artrópodos, subdividida en subclases, órdenes, etc., pero no en los tres grupos citados.* < <

[7] *Hemos respetado la separación que hace el autor entre Óvidos (?) y «Cápridos» (Caprinae), pero, sistemáticamente, el género* Ovis *pertenece a la subfamilia Caprinae, sin constituir por sí mismo un taxón equiparable en rango a los demás citados*. < <

[8] *En efecto*, REMANE, VOLK y WELSCH, *en su* Zoología Sistemática *así lo hacen, pero* KOWALSKY, *en su* Manual de Teriología, *les clasifica como insectívoros, miembros del suborden Protoeutheria, con el nombre común de musarañas arborícolas*. < <

[9] SIMPSON *agrupa a las órdenes de Lagomorfos y Roedores (Rodentia) en una cohorte separada de las Unguiculata y Ferungulata, denominándola* Glires. *Esta división no está suficientemente justificada por no estar los Lagomorfos especialmente emparentados con los roedores. Presumiblemente, ambos órdenes surgieron por separado de los insectívoros, lo que haría imposible agruparlos.* < <

[10] Los Rátidos aquí citados pertenecen en realidad a la familia Muridae, y no aparecen como familia en la sistemática moderna. < <

[11] *N. del T.*—Escritor francés, 1737-1814.
< <

[12] Normalmente, clase Mixosporidios, subfilum Cnidosporidios. < <

[13] *En otras clasificaciones filum Poríferos.* <<

[14] *En otras clasificaciones superfilum Asquelmintos, separado del superfilum Acelomados, que comprende los otros dos fila.* < <

[15] *En otras clasificaciones superfilum.* <<

[16] *En otras clasificaciones Hemicordados.* < <

[17] *En otras clasificaciones, filum Cordados comprende* Tunicados, Cefalocordados, Vertebrados. < <

[18] *En otras clasificaciones subfilum.* <<

Notas de esta edición digital

[1] Adaptación del término francés *otarie*, oso marino. (Nota de esta edición digital) < <

[2] *Millions*: millones. (Nota de esta edición digital) < <

[3] *Dissimulés*: escondidos, disimulados. (Nota de esta edición digital) < <

[4] *Achlorie*: traducido como *acloria*. Más adelante *acloriques*, más frecuentemente *aclorófilo* en español. (*Clorique* equivale a clorhídrico). (Nota de esta edición digital) < <

[5] En la traducción española se sigue fiel al original francés pero las formas correctas son *chiniquodontidos* y *Chiniquodon*. (Nota de esta edición digital) < <

[6] *Lacératrices*: Entiéndase desgarradores o cortadores. (Nota de esta edición digital) < <

[7] En el original francés
(«L'ignorance
des parties molles jette un voile de suspicion sur nos spéculations…») no se hace referencia a nada. (Nota de esta edición digital) < <

[8] *Ciruese*: céreo o ceroso. (Nota de esta edición digital) < <

[9] *Tarsiers*: *tarsero* se acepta desde el *DRAE* de 2001 como nombre vulgar. Aquí se opta por el nombre de la familia (Tarsiidae) o un derivado (Tarsiidos).

En este mismo capítulo también se traduce *Tarsier* como Tarsio (admitido en el *Diccionario del español de México*. (Nota de esta edición digital) < <

[10] *Bassins*: cuencas, depresiones. (Nota de esta edición digital) <<

[11] *Camphriers*: alcanforero (*Cinnamomum camphora*) de la familia de las lauráceas. (Nota de esta edición digital) < <

[12] *Libocèdres*: del género *Libocedrus*, no tiene especies americanas (como tampoco los cedros) aunque está relacionado con géneros americanos. (Nota de esta edición digital) < <

[13] *Anatomistes*: anatomistas. (Nota de esta edición digital) < <

[14] En francés existe el nombre común femenino *paludine*. Aquí mantenemos el masculino de la traducción pero adaptamos al español el género *Paludina*, sinónimo de *Viviparus*. (Nota de esta edición digital) <<

[15] Más conocido como *tuatara* o *tuátara*, palabra maorí. *Hatteria* fue un nombre genérico ahora rechazado. (Nota de esta edición digital) < <

[16] Transcripción de *opossum*, de origen algonquino. En esta traducción se usan *oposum* y *opossum*. (Nota de esta edición digital) < <

[17] *Oeil bridé*: ojo rasgado. (Nota de esta edición digital) < <

[18] *En même temps que les causes*: al mismo tiempo que las causas. (Nota de esta edición digital) < <

[19] *La clé de voûte* : la clave de bóveda. (Nota de esta edición digital) <<

[20] *Finaliser*: terminar, completar y también orientar, darle un objetivo. (Nota de esta edición digital) < <

[21] Alusión a las palabras de Montaigne «branloire pérenne», balancín (o subibaja) permanente. < <

[22] Cardenal malgache en el original («Le Cardinal malgache (ou Canary des Seychelless)»). < <

[23] *Marrons*: cimarrones («Les animaux domestiques marrons (animaux redevenus sauvages)…»). (Nota de esta edición digital) <<

[24] *Marrons*: cimarrones («Les chiens eskimos marrons…»). (Nota de esta edición digital) < <

[25] *Lama*: transcripción del francés, llama. (Nota de esta edición digital) < <

[26] *Finalisation* y más adelante *mécanisme finalisateur*: «finalización» y mecanismo «finalizador», orientación y mecanismo que orienta a un fin). (Nota de esta edición digital) < <

[27] *Opisthobranches éolidiens*: normalmente traducidos como opistobranquios eolidianos. Se oponen a los doridianos. (Nota de esta edición digital) < <

[28] El texto puede traducirse como: *Sólo tenemos que pensar en la fealdad de* Sacculina *o de un cisticerco, la estupidez de un rinoceronte o de un estegosaurio, el horror de una mantis hembra que devora a su pareja o de una larva de icneumónido que devora lentamente una oruga*. (Nota de esta edición digital) <<

[29] *Struthiomimus*. (Nota de esta edición digital) < <

[30] Adaptación al español de *Nèpes* o vulgarización del nombre génerico *Nepa*, insectos hemípteros llamados comúnmente escorpiones de agua. (Nota de esta edición digital) < <

[31] *Article*: artejo. (Nota de esta edición digital) < <

[32] *Privative*: privativo (que causa privación, carencia o falta). (Nota de esta edición digital) < <

[33] *Variation orthogénétique*: variación ortogenética. (Nota de esta edición digital) < <

[34] [*Les*] *Portunions*: referencia a la familia Portunidae o al género *Portunus*. (Nota de esta edición digital) < <

[35] *Suivant les espèces*: según o dependiendo de la especie. (Nota de esta edición digital) < <

[36] En el original no se hace referencia directa al entrecruzamiento (por el que se produce la recombinación) sino a la no separación de genes (la ausencia o baja frecuencia de recombinación que hace que algunos genes se hereden juntos) que se «traduce» con el anglicismo *linkage*:

> La connaissance des genes et de leurs emplacements sur les chromosomes, de leurs liaisons et de leurs recombinaisons (cartes chromosomiques des genes)…
>
> El conocimiento de los genes y sus ubicaciones en los cromosomas, sus enlaces [o ligazones] y recombinaciones (mapas cromosómicos de genes)…

(Nota de esta edición digital) < <

[37] En francés existe el nombre vulgar *oenothères*. En español son *onagras*. (Nota de esta edición digital) < <

[38] Aunque el término *ajolote* está en los *DRAE* desde finales del siglo XIX, en la traducción se transcribe *Axolotl*, que es la forma admitida en francés. (Nota de esta edición digital) < <

[39] *Campagnol*: aunque existe en español el término campañol, reconocido por la RAE desde 1925, el nombre vulgar más usado en la bibliografía en español es topillo (no reconocido por la RAE). (Nota de esta edición digital) < <

[40] *Se dédifferencient*: se desdiferencian. (Nota de esta edición digital) < <

[41] *Garniture*: guarnición, o como se traduce más adelante, dotación. Grassé usa siempre la expresión *garniture chromosomique*. (Nota de esta edición digital) < <

[42] *Forficules*: adaptación al francés del género *Forficula*, literalmente «tijeras pequeñas». Grassé usa *forficule* para los dermápteros en general. El traductor español más adelante indica entre paréntesis que se trata de las tijeretas. (Nota de esta edición digital) < <

[43] *Éléphantine*: elefantino. (Nota de esta edición digital) < <

[44] En la traducción consta «se extolia». En francés «se clive», se escinde, se divide. (Nota de esta edición digital) < <

[45] *Mammalienne*: «mamaliano», mamífero. (Nota de esta edición digital) < <

[46] En la traducción se habla en plural de las dermis subyacentes. En el original se usa el singular («le derme sous-jacent»). (Nota de esta edición digital) < <

[47] Este párrafo puede traducirse así: *Sin embargo, al ser un policía eficaz, la selección natural es extremadamente conservadora por naturaleza. Si la evolución hubiera dependido totalmente de la selección natural, de una bacteria solo habrían surgido numerosas formas de bacterias. La creación de metazoos, vertebrados y, finalmente, mamíferos a partir de organismos unicelulares habría sido completamente imposible, ya que tales grandes saltos en la evolución requerían la creación de nuevos genes loci con funciones previamente inexistentes*. (Nota de esta edición digital) <<

[48] Se trata de los denominados *chromosomes puffs*, zonas engrosadas (o hinchadas, de ahí su denominación de *puff*s) que Beerman y Clver observaron en los cromosomas gigantes y que Grassé describe o traduce como burbujas («bulles o puffs»). Son zonas de gran actividad de síntesis de ARNm. (Nota de esta edición digital) < <

[49] Traducción literal de «mettre en banle», poner en movimiento, poner ne marcha. (Nota de esta edición digital) < <

[50] Debe decir *citoplama* («dêpendance du cytoplame»). (Nota de esta edición digital) < <

[51] En el origina francés consultado consta ARNv-ADN-ARNv. Es obvio que no interviene el ARN ribosómico (ARNr) como primer elemento para convertirse en ARN vírico. (Nota de esta edición digital) < <

[52] Por concordancia con mieloblastoma debería ser *aviario*. (Nota de esta edición digital) < <

[53] En la edición española la negación *no* se convierte en *nos* («Pourtant, nous disposons deja de faits qui ne livrent certes pas la solution du problème évolutif mais…»). (Nota de esta edición digital) < <

[54] *Plantains*. En español el nombre vulgar de varias especie del género *Plantago* es *llantén*. (Nota de esta edición digital) < <

[55] En el original es ARN, que acaba suelto. El ADN recién sintetizado no se suelta. (Nota de esta edición digital) < <

[56] *Saisir*: capturar (en sentido físico) o captar (con los sentidos o el entendimiento). (Nota de esta edición digital) < <

[57] *Spatialemente*: en la traducción consta *especialmente*. (Nota de esta edición digital) < <

[58] Traducción directa de *Novation*. Corresponde el término *novedad*. (Nota de esta edición digital) < <

[59] *Cas de l'Hatteria*: caso de la tuatara. (Nota de esta edición digital) <<

[60] *Scissure calcarine*: cisura calcarina. (Nota de esta edición digital) < <

[61] El artículo no mencionado es «Les Rongeurs du Pleistocene Moyen et Supérieur de France». (Nota de esta edición digital) < <

[62] No existe ninguna referencia en el texto a Ralph Stayner Lillie. El título correcto del artículo es «Randomness and Directiveness in the Evolution and Activity of Living Organisms», publicado en el núm. 82 de *The American Naturalist*, págs. 5-25. (Nota de esta edición digital) < <

[63] El artículo no mencionado es «Raking up the dead.». (Nota de esta edición digital) < <

[64] El artículo no mencionado es «Mikroskopisch-chemischer Nachweis einer Nucleinsäure vom Typus der Thymonucleinsäure und die- darauf beruhende elektive Färbung von Zellkernen in mikroskopischen Präparaten». (Nota de esta edición digital) < <

[65] El artículo no mencionado es «The role of immunochemical differences in the phyletic development of human behavior». (Nota de esta edición digital) <<

[66] El artículo no mencionado es «Virus Recovery in Chicken Cells Tested with Rous Sarcoma Cell DNA». (Nota de esta edición digital) <<

[67] El artículo no mencionado es «Evolution of higher-organism DNA». (Nota de esta edición digital) < <

[68] El artículo no mencionado es «Synthesis and structure of macromolécules». (Nota de esta edición digital) < <

[69] El artículo no mencionado es «Antibody to the RNA-dependent DNA polymerase of mammalian
C-type
RNA tumor viruses». (Nota de esta edición digital) < <

[70] El artículo no mencionado es «On the inhibition of tumor inception in the Crown-gall disease with the use of ribonuclease A». (Nota de esta edición digital) < <

[71] El artículo no mencionado es «Chemical specificity of nucleic acids and mecanism of their enzymatic degradation». (Nota de esta edición digital) < <

[72] Aquí se traduce el subtítulo de la obra: «réponse à Virchow». (Nota de esta edición digital) < <

[73] Como en la nota e38 el artículo no mencionado es «Virus Recovery in Chicken Cells Tested with Rous Sarcoma Cell DNA». (Nota de esta edición digital) < <